La Revista de cojinetes a bolas



La Revista de cojinetes a bolas

Boletín técnico sobre montajes de rodamientos de bolas y de rodillos

4 1960

Nuestra portada: Eje cigüeñal semicompuesto mediante inyección de aceite de un motor diesel para un buque moderno de pesca

COMPAÑIA SUDAMERICANA SKF, S. A.

MONTEVIDEO / Cerro Largo 1089 / Casilla de Correo 134

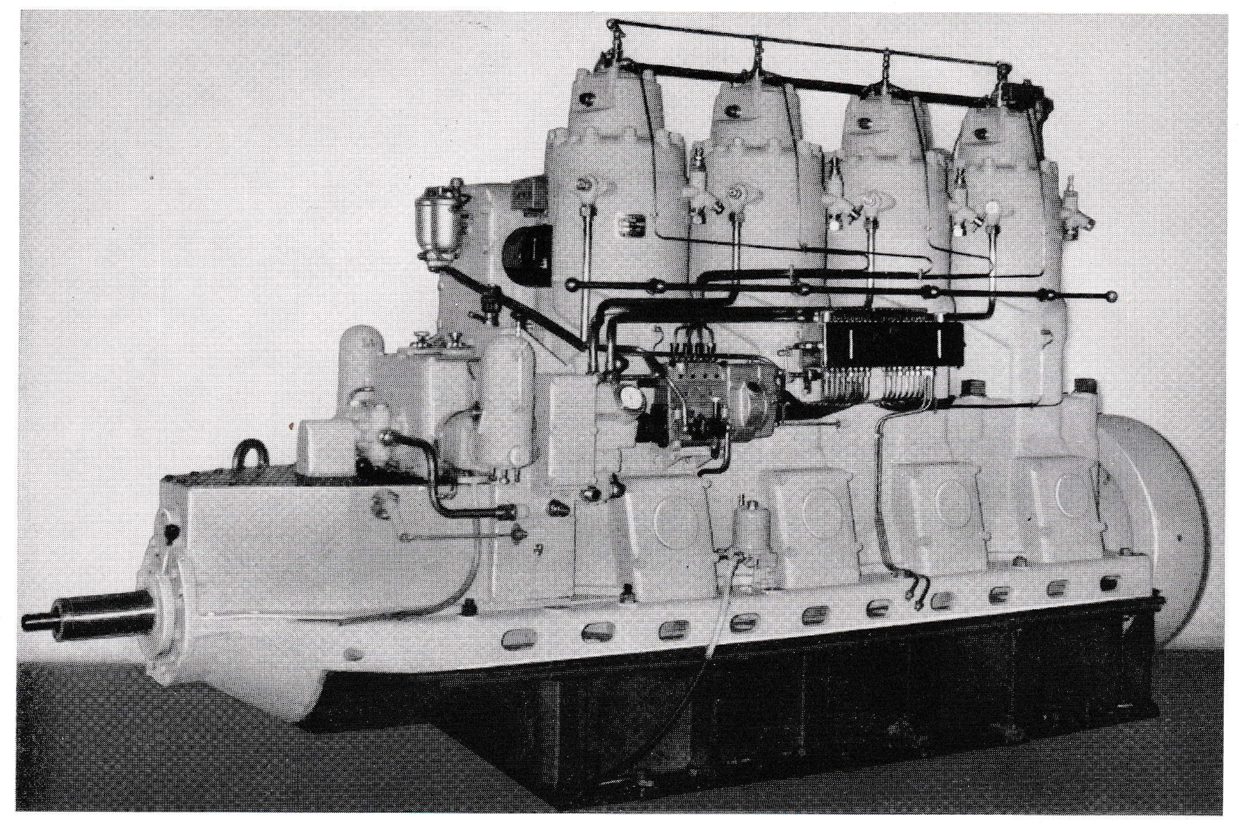


Fig. 1. Motor diesel de cuatro cilindros con eje cigüeñal semicompuesto mediante el método de inyección de aceite. Fabricante: Brødr. Brunvoll Motorfabrikk, Molde, Noruega

Ejes cigüeñales compuestos de motores de combustión montados en rodamientos

Reg. 812 101

Dentro de un campo relativamente extenso de la técnica de motores de combustión interna, los rodamientos han sucesivamente reemplazado los cojinetes ordinarios. Se emplean casi exclusivamente los rodamientos en los cojinetes de apoyo y los de las bielas en motores de dos tiempos con carburador, y en los cojinetes de apoyo de los motores diesel y semidiesel de dos tiempos con barrido del cárter. También en los motores de cuatro tiempos y un cilindro se emplean extensamente los rodamientos, y muchas veces también en los de dos cilindros.

En los motores de combustión de varios cilindros con ejes cigüeñales enteramente forjados, los codos de los ejes constituyen un obstáculo para el montaje de rodamientos en los muñones de los ejes cigüeñales. Una excepción es cuando se fabrican los ejes cigüeñales de un acero apropiado de endurecimiento superficial y se construyen los brazos de los cigüeñales como discos redondos sobre los cuales se rectifican pestañas de guía y caminos de rodadura para rodillos cilíndricos. En tal caso, el aro exterior es de la misma ejecución que en los rodamientos de rodillos cilíndricos del tipo N, es decir que carece de pestañas de guía.

Esta construcción es apropiada para ejes cigüeñales con carrera relativamente corta y para los de ejecución convencional donde la suma del diámetro del eje y el del botón de manivela es menor que la carrera.

Los ejes cigüeñales de este tipo se fabrican, de entre otros, por la firma alemana Maybach Motorenbau GmbH en Friedrichshafen, que emplea ejes semejantes en sus motores diesel de 4 hasta 16 cilindros. Estos se construyen en parte con los cilindros en línea, en parte con los cilindros en V. Todos los tamaños de motores tienen diámetro de cilindro de 185 mm y carrera de 200 mm. Los motores que generalmente están equipados con dispositivo de sobrealimentación, se entregan con

potencias desde 400 hasta 3600 HP, y se montan principalmente en locomotoras y automotores diesel, pero se ha empezado a emplearlos cada vez más como máquinas de propulsión en buques. SKF Schweinfurt entrega los rodamientos para estos motores. En los tres últimos años se han suministrado unos 10000 rodamientos, lo que da una idea de la extensión de la producción.

La *fig. 2* representa seccionada una parte de un motor Maybach. La figura demuestra la construcción del eje cigüeñal y de los rodamientos de rodillos cilíndricos. El eje cigüeñal es guiado axialmente por un rodamiento rígido de una hilera de bolas montado en el extremo opuesto. El cárter es enterizo.

La *fig. 3* representa el cárter de un motor de 12 cilindros, y se ven los asientos para los rodamientos de rodillos cilíndricos. En la *fig. 4* se ve como se introduce en el cárter el eje cigüeñal con los aros interiores y rodillos de los rodamientos de rodillos cilíndricos habiendo anteriormente montado los aros exteriores. La *fig. 5* representa una vista de cerca de un codo del cigüeñal.

Para facilitar una más extensa aplicación de rodamientos a motores de combustión interna de varios cilindros, es necesario hacer los ejes cigüeñales de varias piezas que se unen en el montaje.

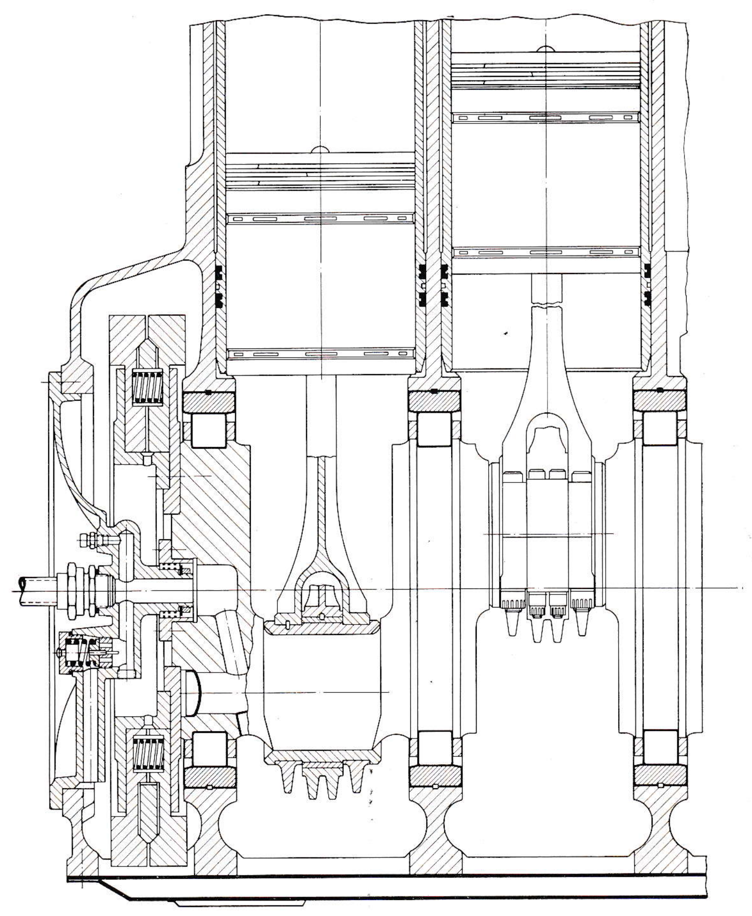


Fig. 2. Corte de dos de los cilindros de un motor Maybach de 12 cilindros

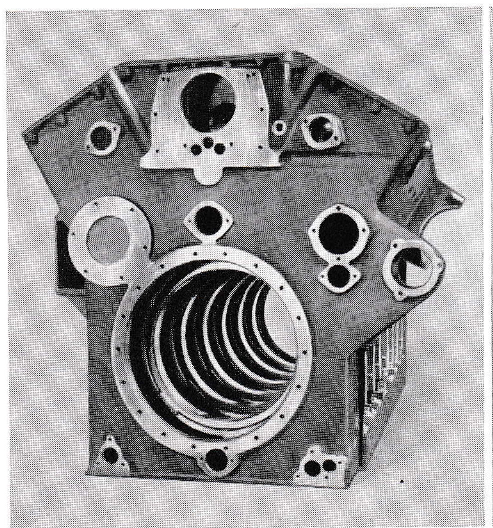


Fig. 3. Cárter del motor de la fig. 2

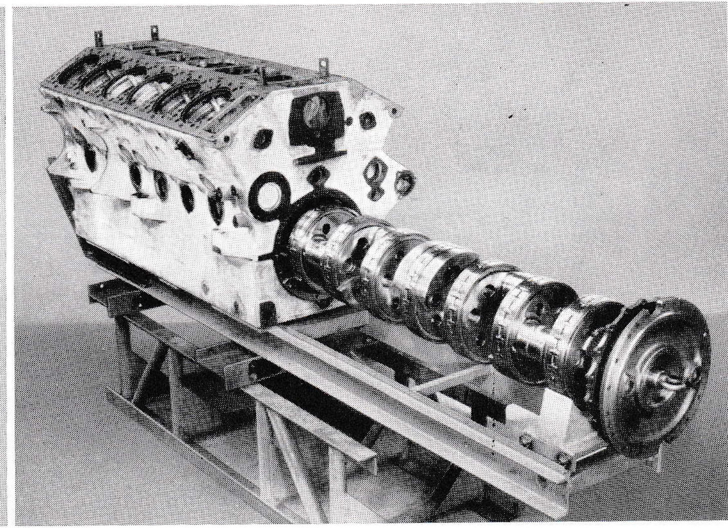


Fig. 4. Posición de partida al montar el eje cigüeñal en el cárter del motor de la fig. 2

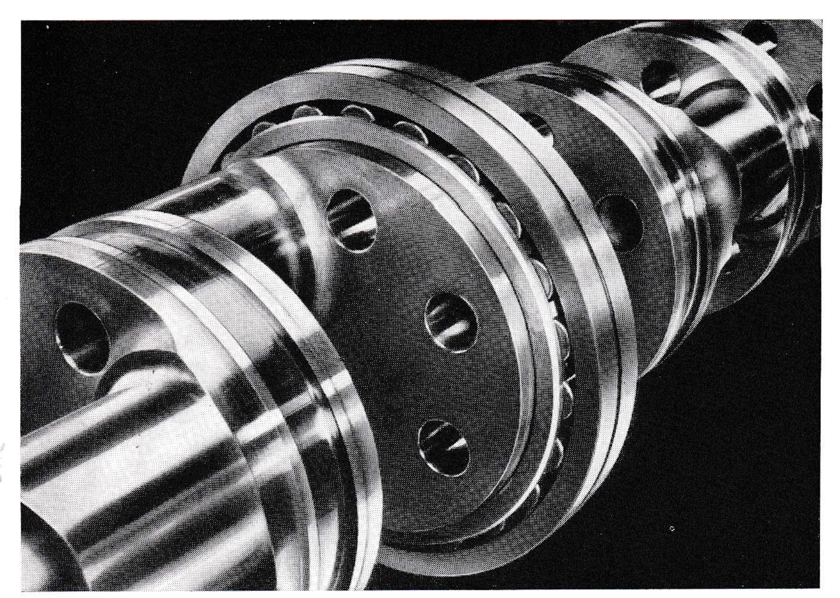


Fig. 5. Detalle del eje cigüeñal de un motor Maybach de 12 cilindros

En este ramo el progreso ha sido muy rápido y actualmente existen varias maneras de unir tales ejes cigüeñales. A continuación se describirán estos métodos, dando preferencia a los ejes unidos con ayuda del método de aceite a presión ideado por SKF.

Para componer los ejes cigüeñales pueden aplicarse dos diferentes principios fundamentales, o sea unirlos mediante tornillo o bien a presión.

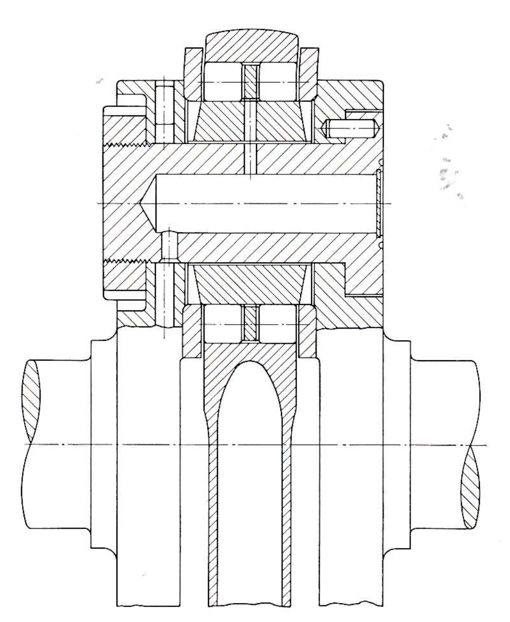


Fig. 6. Codo con unión de tornillo según el sistema Hirth

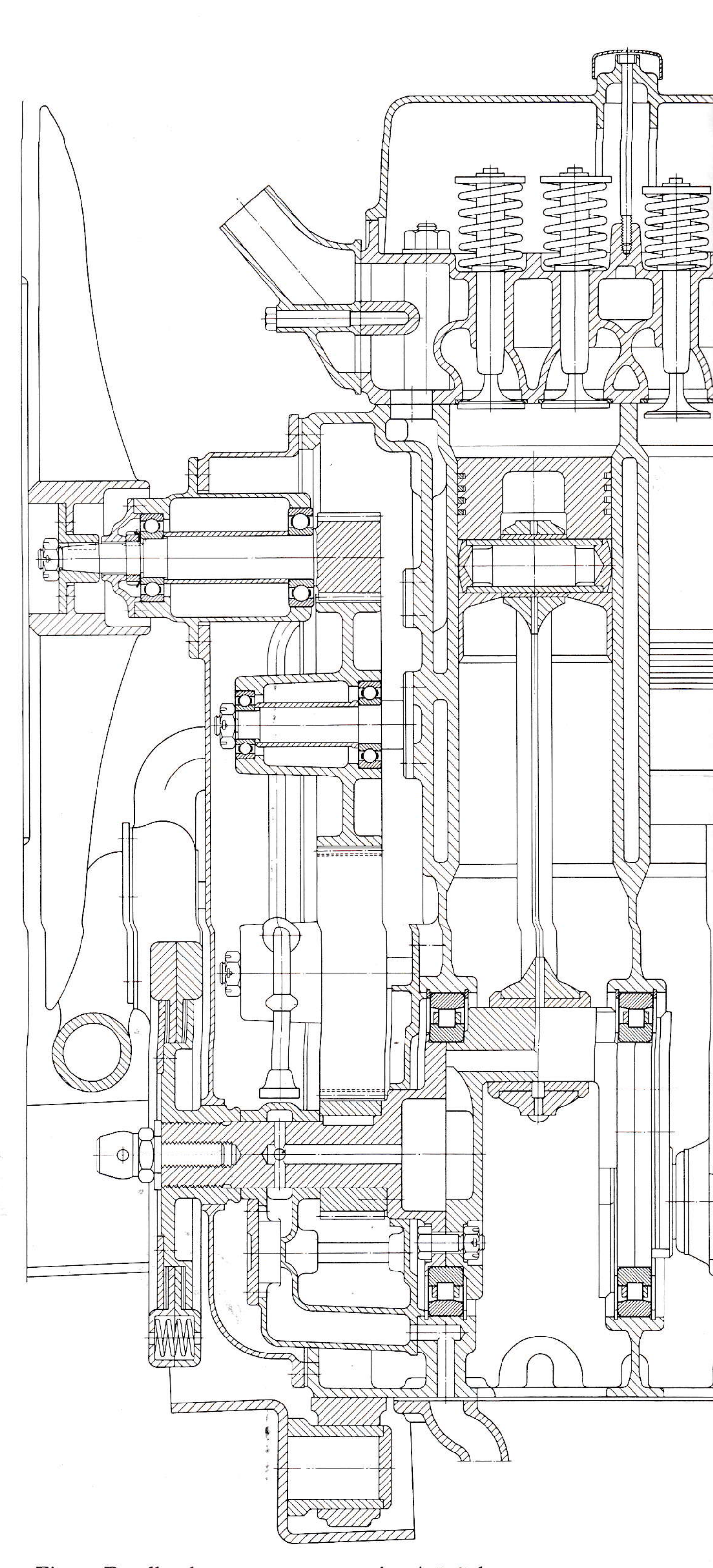


Fig. 7. Detalle de un motor con eje cigüeñal compuesto mediante uniones de tornillo según el sistema Saurer

Ejes cigüeñales compuestos mediante uniones de tornillo

A. *Construcción del eje cigüeñal del Dr. Hirth*

Un ejemplo de un eje cigüeñal compuesto mediante uniones de tornillo es el de construcción Hirth, *fig. 6*. Este se emplea en pequeños motores de aviones.

Los botones de manivela y muñones de eje están provistos de manguitos fabricados de acero para rodamientos. Los manguitos sirven de aros interiores para los cojinetes de apoyo y de la biela los cuales están construídos como rodamientos de rodillos cilíndricos. En su extremo los manguitos están dentados frontalmente y los dientes ajustan en dientes correspondientes de los brazos del cigüeñal. Las piezas del eje están unidas mediante pernos que pasan por los manguitos y los brazos del cigüeñal. Los manguitos soportan el esfuerzo de torsión y los pernos el de tensión. A fin de que no se produzca corrosión de contacto en los dientes frontales, el perno que pasa por el manguito debe ser lo más grueso posible y tan fuertemente apretado que el momento de flexión al cual está expuesto el eje cigüeñal no dé lugar a movimiento entre los dientes del manguito y los de los brazos.

B. *Construcción del eje cigüeñal de Saurer*

En la *fig. 7* se ve otro ejemplo de un eje cigüeñal compuesto con ayuda de uniones de tornillo. Hace mucho tiempo, el constructor, la firma suiza A. G. Adolph Saurer en Arbon, emplea esta ejecución en sus motores de gasolina y diesel, tanto de seis como de doce cilindros — los de seis cilindros para camiones y los de doce para automotores de ferrocarril.

De la figura se desprende que los botones de manivela están hechos de una pieza, cada uno con su mitad del disco del cigüeñal perteneciente. Los discos están partidos en el centro en ún plano perpendicular al eje y unidos por tornillos. Los asientos para los cojinetes de apoyo, que son rodamientos de rodillos cilíndricos, están mecanizados sobre estos discos. Los asientos deben tener un ancho un poco mayor que el de los rodamientos pues en el caso contrario hay riesgo de deformar el aro interior al apretar los tornillos quedando entonces torcido el eje.

Existen también otras firmas europeas que construyen o han construído motores parecidos, como son las fábricas Skoda en Checoeslovaquia y S.A. John Cockerill en Bélgica.

Anteriormente, la fabricación de ejes cigüeñales de esta construcción resultaba muy costosa en comparación con la ejecución corriente. Actualmente, habiendo en el mercado materiales adecuados para ejes cigüeñales como por ej. fundición nodular, las piezas de los ejes cigüeñales de este tipo pueden ser fundidas, *fig. 8*, reduciéndose los costos de fabricación.

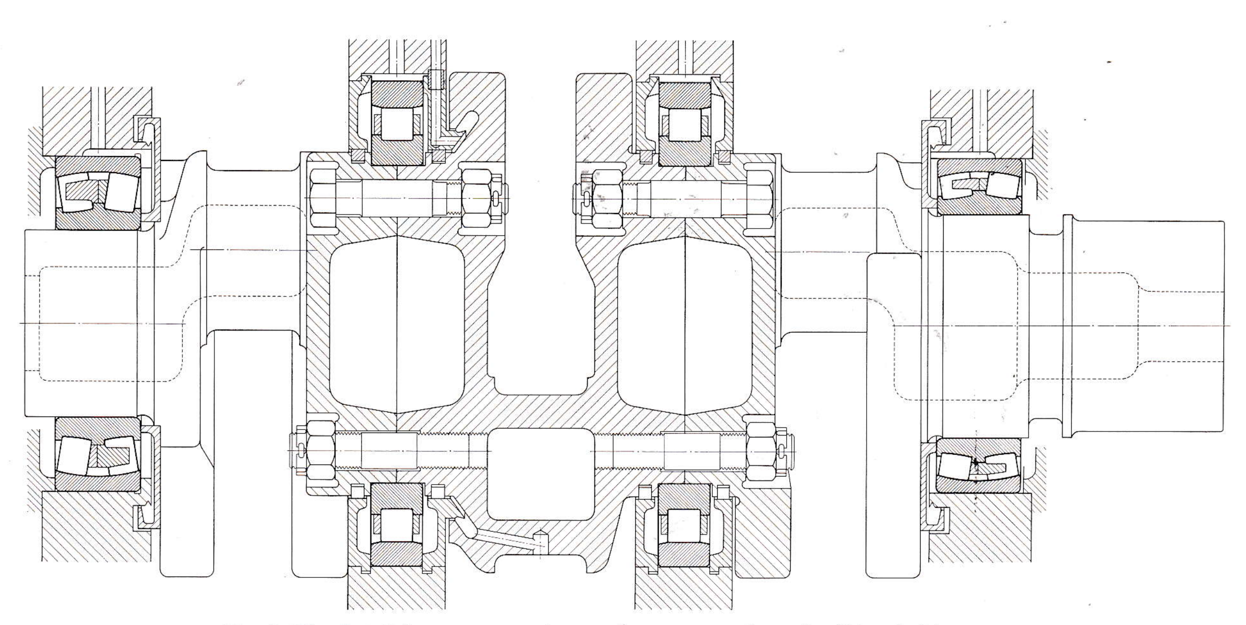


Fig. 8. Eje cigüeñal compuesto, sistema Saurer, con piezas fundidas de hierro tenaz

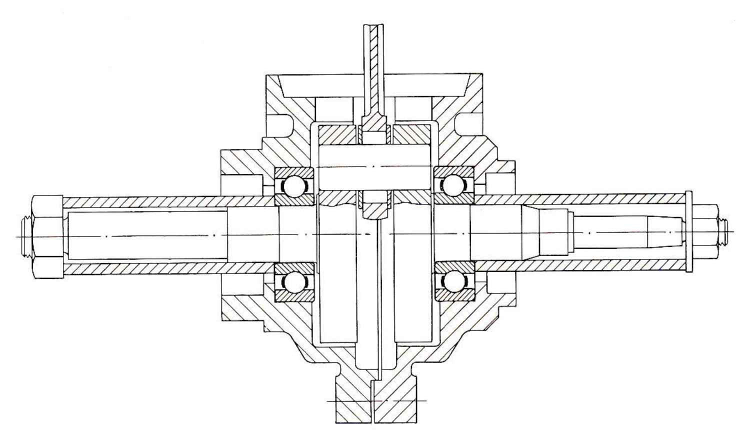


Fig. 9. Eje cigüeñal de un pequeño motor de dos tiempos. El eje está compuesto mediante unión a presión

Ejes cigüeñales compuestos mediante uniones a presión

A. *Unión a presión con los muñones de eje y botones de manivela empujados a presión directamente en los brazos del cigüeñal*

Los ejes cigüeñales de motores de motocicletas y motores pequeños de automóviles pueden preferiblemente componerse con ayuda de uniones a presión. Para motores de varios cilindros el material de los brazos del cigüeñal debe tener un límite alto de alargamiento en vista de que se requiere un apretamiento muy fuerte, especialmente entre los muñones de eje y brazos del cigüeñal para evitar que los muñones se tuerzan a velocidades altas. En general, se emplea un asiento cilíndrico de cuñas para los muñones de eje, en parte para evitar torsión, y en parte para conseguir que la posición angular de los botones de manivela entre sí sea la correcta y también la en relación al mecanismo motriz para el distribuidor del encendido, la bomba de inyección etc.

Al introducir los muñones de eje y botones de manivela, deben emplearse herramientas especiales que aseguran que la introducción se haga perpendicularmente a los planos de los brazos los cuales, por lo menos en los motores pequeños, deben tener superficies laterales endurecidas y rectificadas. En el caso contrario hay riesgo que los muñones de los ejes no se alineen con precisión suficiente lo que puede conducir a roturas del eje o aflojamiento de las uniones debido a corrosión de contacto, fatiga de los rodamientos, etc.

La *fig. 9* representa un eje cigüeñal compuesto con unión a presión de un motor pequeño de un cilindro y dos tiempos. Los rodamientos están montados con ajuste fuerte tanto sobre los ejes como en el cárter. A fin de que el eje cigüeñal y sus rodamientos no se aprieten en el montaje, la separación entre las caras exteriores de los rodamientos de apoyo debe ser mayor que la entre las caras exteriores del codo, aumentada con el doble del ancho de los rodamientos. El montaje de los rodamientos puede hacerse con ayuda de dollas de distancia y las roscas de los extremos de eje. Primeramente se montan los rodamientos en las mitades del cárter calentando éstas preferiblemente, pues si se empujan a presión los rodamientos en un cárter de por ej. siluminio, electrón o un material similar, los asientos de los rodamientos pueden deformarse plásticamente. Después se cala el rodamiento de la mitad derecha del cárter sobre su asiento y seguidamente el de la izquierda; este último se cala sobre su asiento con ayuda de los mecanismos de tornillo hasta que el juego remanente entre las dos mitades del cárter sea de 0,05—0,10 mm midiéndolo mediante calibradores. Cuando después se aprietan los tornillos de las mitades del cárter, los rodamientos obtienen cierto apretamiento axial que debido al coeficiente de dilatación mayor del material del cárter desaparece enteramente o en la mayor parte cuando se calienta el cárter. Entre el aro interior del rodamiento izquierdo y el brazo del cigüeñal queda cierto juego siempre que esté correctamente montado el eje. La medición mencionada más arriba es suficiente para asegurarse de que el eje cigüeñal y los rodamientos no sean expuestos a esfuerzos de apretamiento.

La *fig. 10* representa la construcción de un eje cigüeñal compuesto mediante unión a presión para

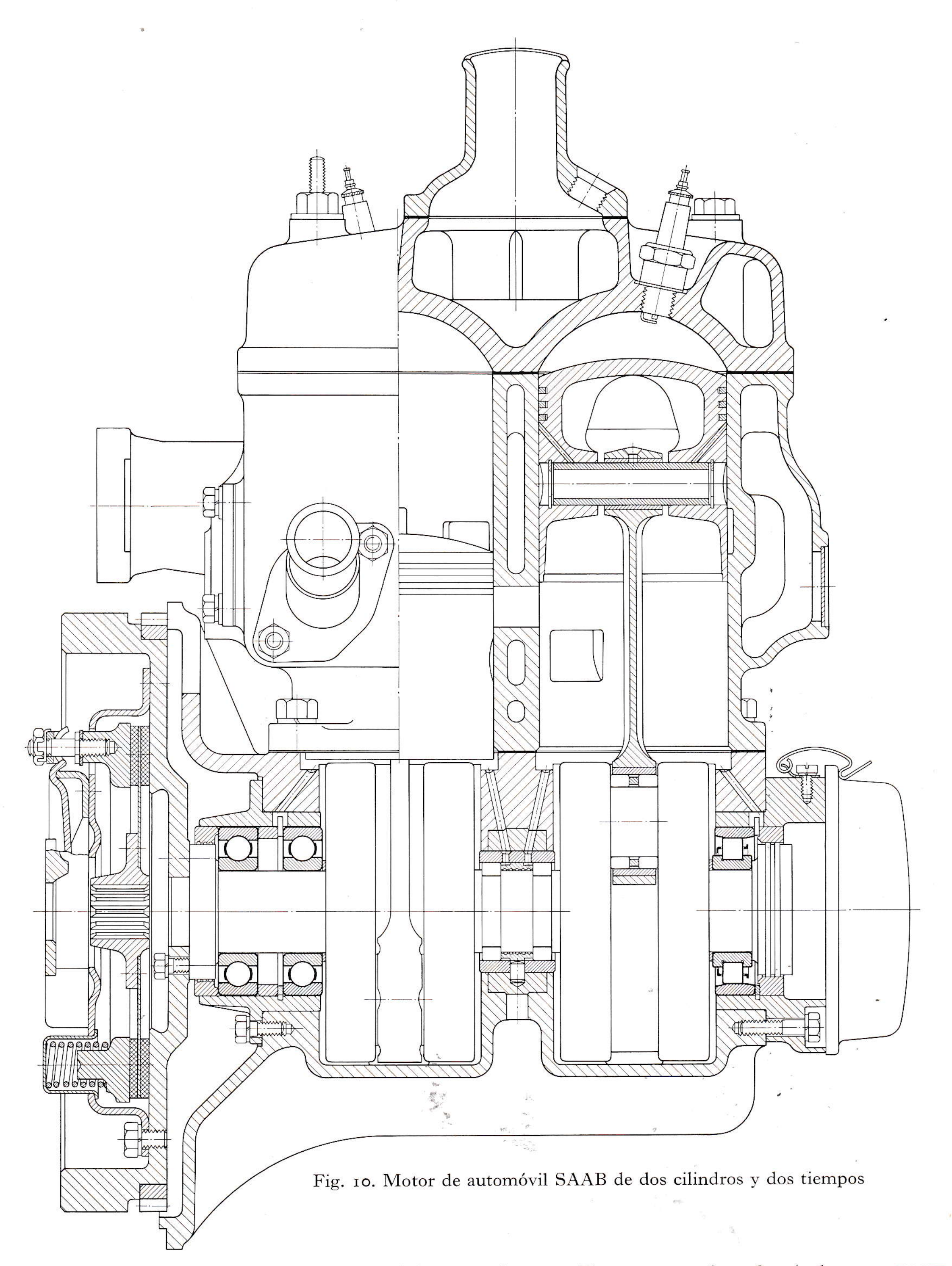


Fig. 10. Motor de automóvil SAAB de dos cilindros y dos tiempos

un motor de dos cilindros del automóvil SAAB. El rodamiento intermedio está construído para servir de obturación entre los dos cárteres. La *fig. 11* representa un motor SAAB de tres cilindros también compuesto con ayuda de uniones a presión.

Como se ve de la fig. 11, se emplean aros de émbolo como elemento de obturación entre los cárteres. En una prueba efectuada por SKF en un motor de dos tiempos se montó una obturación de aros de émbolo a cada lado de un rodamiento de apoyo. La protección del rodamiento contra impurezas y corrosión fué muy eficaz, a la vez que el insignificante escape de neblina de aceite por los aros de obturación bastó para lubricarlo.

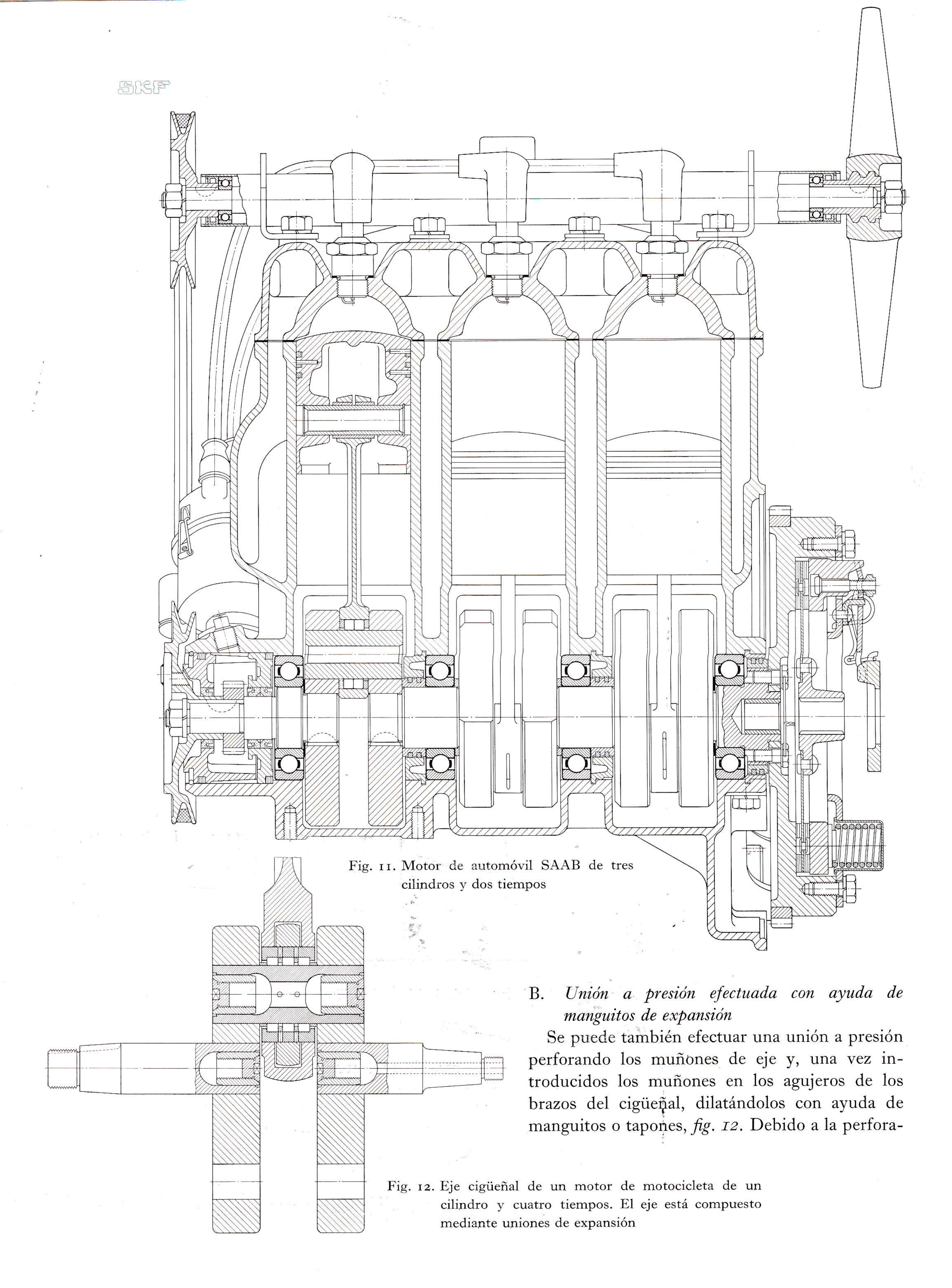


Fig. 11. Motor de automóvil SAAB de tres cilindros y dos tiempos

Fig. 12. Eje cigüeñal de un motor de motocicleta de un cilindro y cuatro tiempos. El eje está compuesto mediante uniones de expansión

B. *Unión a presión efectuada con ayuda de manguitos de expansión*

Se puede también efectuar una unión a presión perforando los muñones de eje y, una vez introducidos los muñones en los agujeros de los brazos del cigüeñal, dilatándolos con ayuda de manguitos o tapones, *fig. 12*. Debido a la perfora-

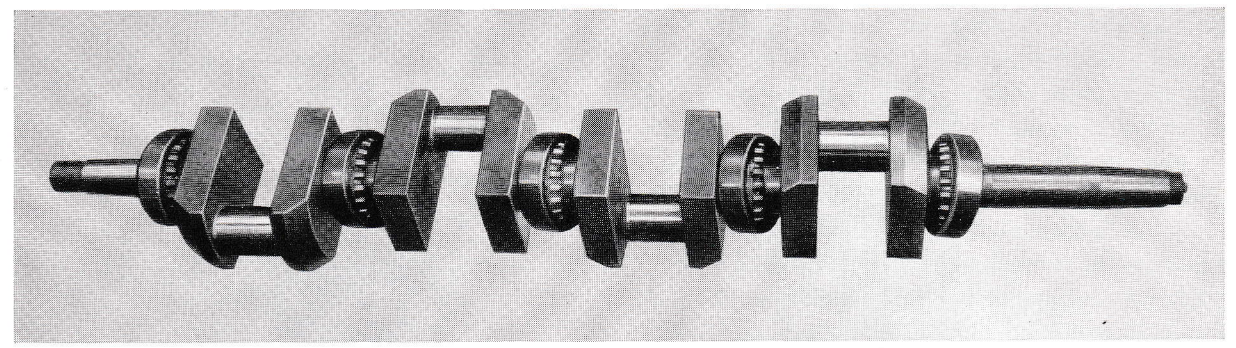


Fig. 13. Eje cigüeñal de un motor dies de 400el HP compuesto mediante uniones de expansión

ción en los extremos de eje, los muñones se contraen fuertemente al ser introducidos, incluso aplicando presión moderada. Para obtener un rozamiento suficientemente fuerte entre el muñón y el agujero, se empujan a presión uno o varios manguitos o tapones endurecidos en los extremos de eje, eligiéndose las mordazas entre el agujero del brazo y el eje y las entre el agujero del eje y los manguitos o tapones de expansión de tal manera que los extremos de eje solamente se dilaten muy poco. Según este método se compone el eje en etapas, lo que significa que es posible montar y desmontar los ejes cigüeñales con herramientas de tornillo relativamente sencillas. El procedimiento se presta bien a ejes cigüeñales de hasta 200 mm de diámetro. La composición de ejes cigüeñales con ayuda de uniones a presión con manguitos o tapones de expansión según este método, se ha aplicado a millares de ejes cigüeñales, principalmente para motores de automóviles y motores pequeños.

Sin embargo, se han montado una cantidad relativamente grande de ejes cigüeñales con uniones de expansión en motores marinos de varios cilindros y dos tiempos con barrido del cárter. En la *fig. 13* se ve el eje cigüeñal de un motor marino de cuatro cilindros y 400 HP, y en la *fig. 14,* un corte de un eje cigüeñal similar.

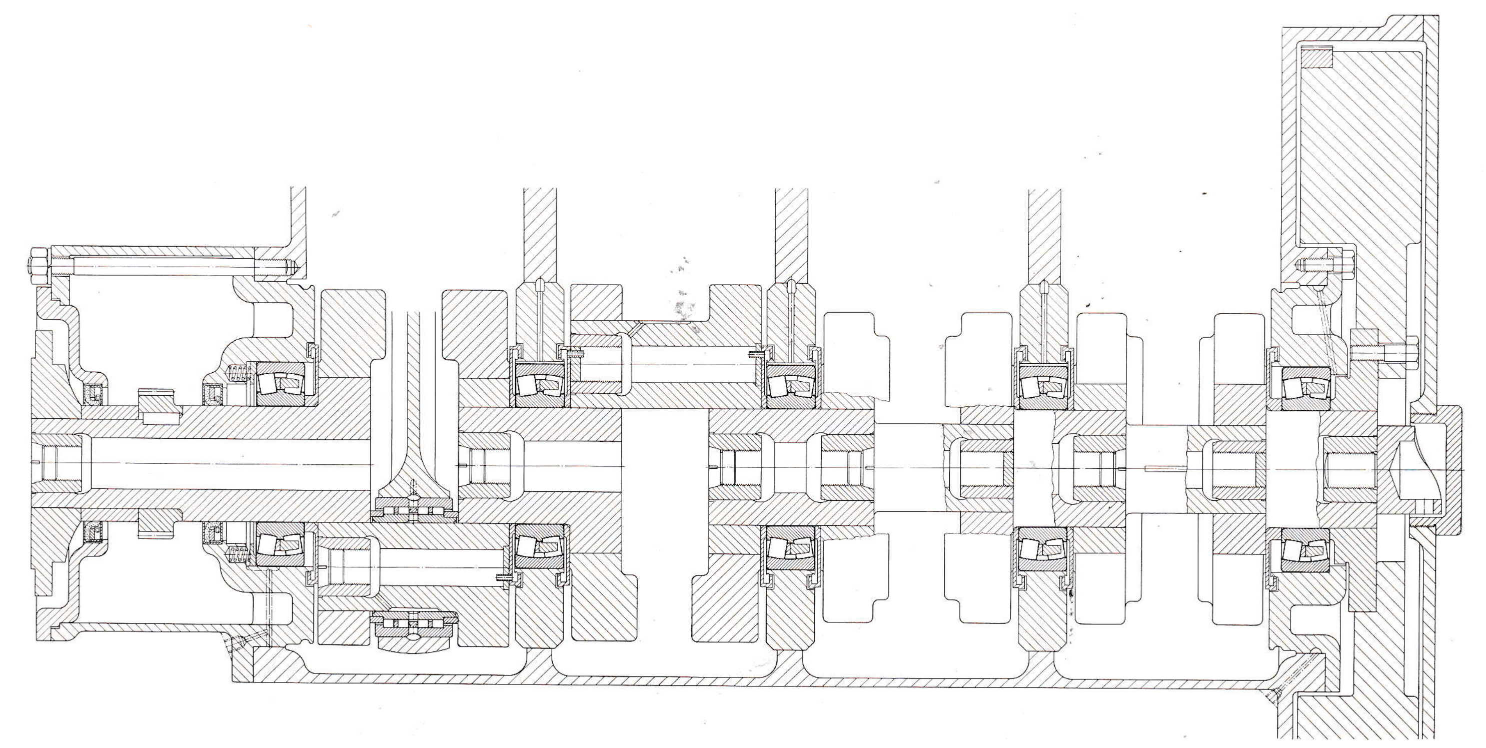


Fig. 14. Eje cigüeñal de un motor diesel de cuatro cilindros y dos tiempos compuesto mediante uniones de expansión

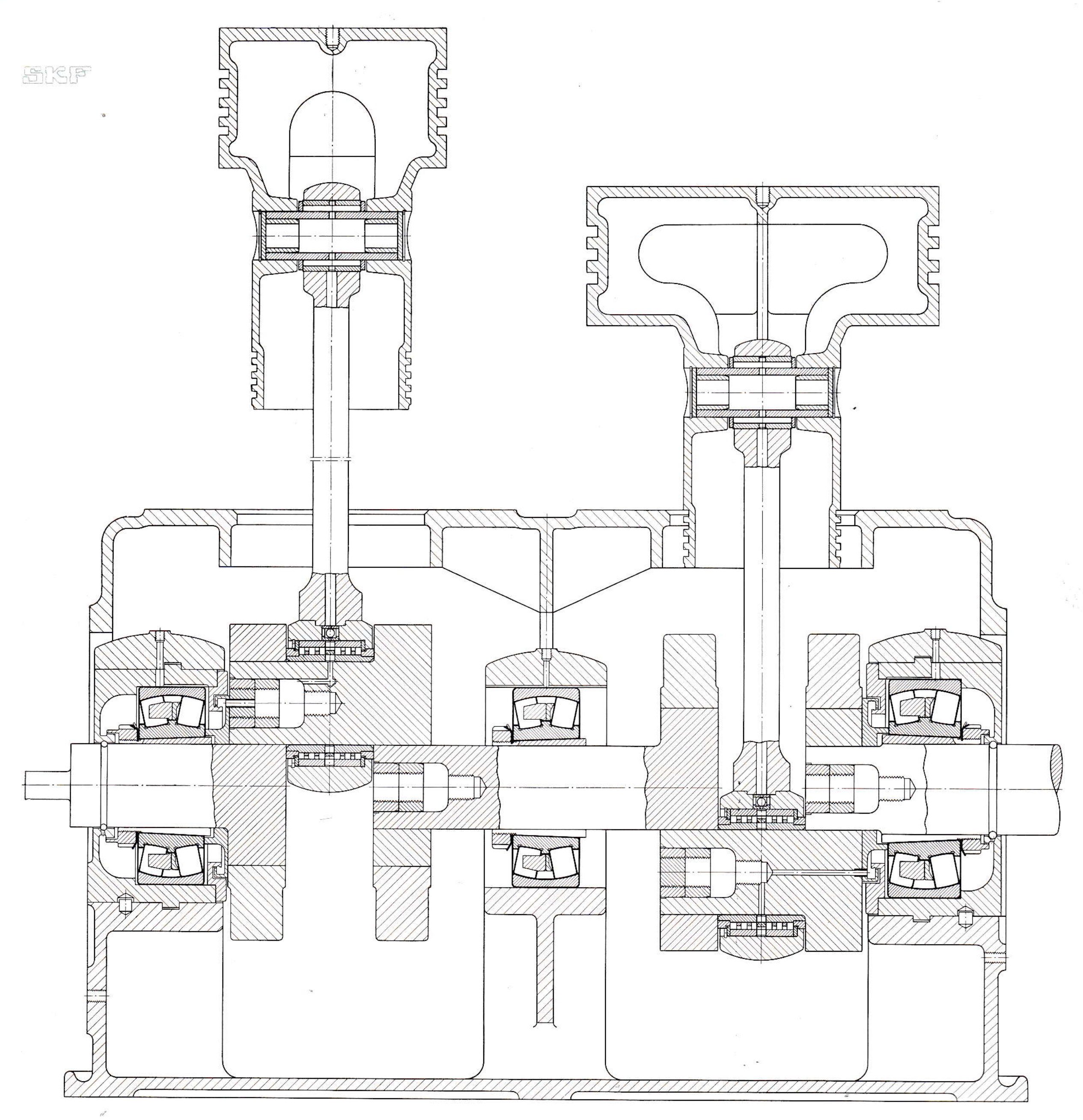


Fig. 15. Eje cigüeñal de un compresor de aire compuesto mediante uniones de expansión

La *fig. 15* representa un eje cigüeñal compuesto para un compresor de dos etapas y doble efecto enteramente provisto de rodamientos de rodillos. La capacidad es de 16 m³ de aire por minuto a la presión de 7 at. Unos cuantos compresores semejantes han estado en marcha más de 100000 horas. Después de 140000 horas de marcha se desmontó un eje cigüeñal de este tipo para inspeccionar los rodamientos encontrándose tanto el eje como los rodamientos sin defectos. Hasta la fecha este eje ha estado en marcha 185000 horas.

La *fig. 16* representa una herramienta de expansión compuesta de un manguito con doble cono interior introducido en un agujero taladrado en el extremo del eje, en el cual mediante un tornillo se introducen a presión dos manguitos cónicos de expansión fabricados de acero endurecido. La conicidad no debe ser tan pequeña que los manguitos se peguen. El tornillo tiene roscas a la derecha y la izquierda y los manguitos de expansión tienen roscas correspondientes. Si se dan vueltas al tornillo en un sentido o el otro, los manguitos se acercan o alejan respectivamente. Untando las superficies cónicas que hacen con-

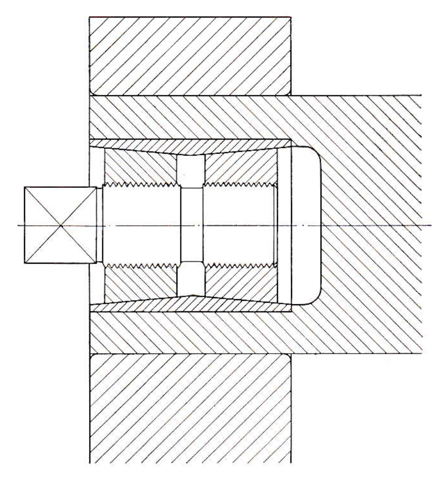


Fig. 16. Herramienta de expansión con manguito exterior de doble cono interior, provista de dos roscas opuestas para la introducción de los dos tapones de expansión

tacto entre sí con una mezcla de nafteno de zinc y lanolina, se reduce el coeficiente de rozamiento considerablemente pudiendo emplearse una conicidad tan baja como hasta 1:16 sin riesgo de agarrotamiento propio. En los pasos de roscas debe desde el principio haber un juego que corresponde a la mordaza final a fin de que el tornillo no quede agarrado y además se emplea también aquí el lubricante mencionado.

C. *Unión a presión efectuada con ayuda del método SKF de aceite a presión*

En su modo de funcionar la unión con inyección de aceite es parecida a las uniones normales a presión o contracción y sus características más marcadas son que facilita considerablemente tanto el montaje como el desmontaje y que se puede montar y desmontar repetidas veces sin dañarse ni reducir su fuerza de rozamiento. En varias publicaciones de SKF, entre otras, números anteriores de esta Revista, se ha descrito la unión con inyección de aceite y dado instrucciones para su cálculo y construcción, por lo cual solamente describiremos brevemente su funcionamiento.

La gran fuerza que normalmente es necesaria para el montaje de uniones a presión se reduce considerablemente empleando inyección de aceite para el montaje. Igual que la unión normal, se montan estas uniones calando a presión un cubo sobre un eje o introduciendo el eje en un cubo, pero durante el propio procedimiento de montaje se inyecta aceite a presión alta entre las piezas de las uniones de manera que una película delgada de aceite separa las dos superficies, reduciéndose a un mínimo el riesgo de dañar las superficies. Al introducir los muñones en el cubo, lo que en realidad debe vencerse es la presión que el aceite ejerce sobre el cono del eje en sentido axial. En el desmontaje esta presión de aceite desprende con gran fuerza el cubo del eje o el eje del cubo respectivamente siempre que no se disponga de un tope apropiado.

Existen tres tipos de uniones con aceite a presión:

Uniones cuya pieza exterior se monta directamente sobre muñón cónico del eje, *fig. 17*

Uniones con manguito intermedio interiormente cilíndrico y exteriormente cónico, *fig. 18*

Uniones con manguito intermedio exteriormente cilíndrico e interiormente cónico, *fig. 19*

Actualmente se emplean uniones con inyección de aceite según las figs. 17 y 19 para componer ejes cigüeñales.

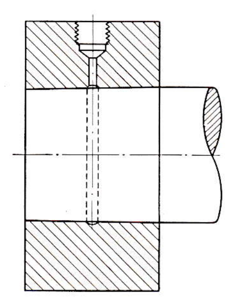


Fig. 17. Unión de aceite a presión cuya pieza exterior se monta directamente sobre eje cónico

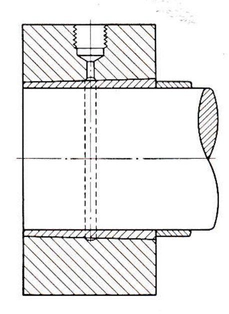


Fig. 18. Unión de aceite a presión con manguito intermedio de exterior cónico

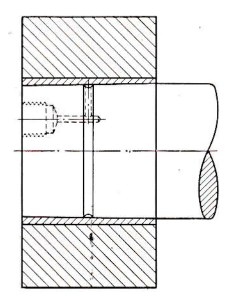


Fig. 19. Unión de aceite a presión con manguito intermedio de interior cónico

Hasta ahora se ha aplicado el método de inyección de aceite principalmente a motores marinos. A continuación nos limitamos a este campo de aplicación con excepción de un pequeño párrafo acerca de motores estacionarios.

Opinión de las instituciones de clasificación acerca del empleo de ejes cigüeñales compuestos mediante uniones con inyección de aceite

Generalmente, las sociedades de clasificar están bien inclinadas al empleo del método de inyección de aceite al componer ejes cigüeñales para motores marinos. Bureau Veritas y Germanischer Lloyd, igual que la inspección sueca de buques, han ya en una etapa temprana aceptado la aplicación general de este método a motores de combustión interna de varios cilindros. La sociedad noruega Det Norske Veritas no pone objeción alguna al empleo del método de inyección de aceite para la composición de ejes cigüeñales siempre que para cada caso obtenga todos los datos de la unión. Algunos de los motores en Noruega que se han provisto de ejes cigüeñales compuestos mediante inyección de aceite, han sido instalados en buques destinados a la pesca en los mares glaciales y los ejes cigüeñales han sido muy seguros incluso navegando entre hielos.

Lloyd's Register of Shipping está probando esta construcción en todos los casos y hasta ahora ha limitado su aceptación a motores con una potencia máxima de 300 HP.

Estipulaciones para las dimensiones de ejes cigüeñales compuestos para motores marinos

Para calcular el diámetro de eje valen las estipulaciones establecidas por Lloyd's Register of Shipping habiéndose determinado que la distancia sea la separación entre los lados interiores de los cojinetes. Esta distancia ha sido aprobada por Lloyd's también al emplear rodamientos de rodillos. Teniendo en cuenta que el tipo de rodamientos de rodillos que más a menudo se emplea, o sea el de rótula que es de alineación automática, SKF recomienda sin embargo que se calcule el diámetro de eje a base de $L_1 = L + B$, siendo L la distancia mencionada y B el ancho del rodamiento. Según Lloyd's Register of Shipping vale la fórmula

$$d = \sqrt[3]{\frac{D^2 \cdot (P \cdot L + C \cdot p \cdot S)\, 14{,}22}{10\,000}}$$

siendo d = diámetro del eje en mm
D = diámetro del cilindro en mm
S = carrera en mm
L = separación entre los lados interiores de los rodamientos en mm
P = presión máxima de combustión en kg/cm²
p = presión media indicada en kg/cm²
C = un coeficiente cuyo valor se obtiene de una tabla de la publicación «Rules and Regulations for the Construction and Classification of Steel Ships» editada por Lloyd's.

Para ejes compuestos Lloyd's Register of Shipping estipula lo siguiente

$$h = 0{,}625\, d$$

$$t = \sqrt{\frac{0{,}12\, d^3}{h}} \quad \text{es decir } t = 0{,}44\, d$$

siendo h = espesor de los brazos del cigüeñal en mm
t = espesor del material del brazo alrededor de los agujeros en mm.

Para motores de varios cilindros, las instituciones de clasificación estipulan además que se haga un cálculo de las oscilaciones de torsión para el sistema dinámico formado por el eje motor, eje intermedio, eje de hélice y hélice. Si otros componentes están incluídos en el sistema, como son volantes, engranajes dentados o generadores, éstos también deben tenerse en cuenta. Esta investigación es indispensable para averiguar que el eje cigüeñal y el sistema de ejes no estén expuestos a esfuerzos excesivos a causa de la oscilación de torsión.

En general los ejes cigüeñales compuestos se fabrican en acero al carbono con una resistencia a la rotura de 44 a 50 kg/mm² y un límite de alargamiento de por lo menos 22 kg/mm².

Cálculo de la capacidad de transmitir momentos de torsión de las uniones montadas mediante inyección de aceite

Lloyd's Register of Shipping estipula que la mordaza entre el eje y el agujero del brazo debe ser máximo $\frac{d}{550}$ y mínimo $\frac{d}{700}$.

Por el diagrama de la *fig. 20* se desprenden las longitudes de calado que corresponden a la mordaza mencionada con diferentes diámetros de eje y con las conicidades 1:30, 1:50 y 1:80 respectivamente.

El coeficiente de rozamiento puede variar de una a otra unión tanto en las uniones montadas mediante inyección de aceite como en las a contracción. Para una unión montada mediante inyección de aceite generalmente se calcula con un coeficiente de rozamiento mínimo de 0,12. La cifra correspondiente para una unión a contracción es de 0,14. A causa de esta diferencia se ha manifestado que un eje cigüeñal compuesto mediante uniones montadas con inyección de aceite debe ser de dimensiones más fuertes para compensar la diferencia en la capacidad de transmitir momentos de torsión en comparación con una unión a contracción. Sin embargo debe tenerse en cuenta que la capacidad de transmitir momentos de las uniones montadas mediante inyección de aceite no depende en gran manera de las tolerancias de eje y agujero como al contrario es el caso de las uniones cilíndricas a contracción.

Todas las uniones con inyección de aceite se montan con prácticamente la misma mordaza. SKF siempre estipula cierta longitud de calado al montar el brazo del cigüeñal sobre el cono del eje. Si se mantiene la longitud indicada de calado, ciertamente puede ocurrir que el largo del eje varíe un poco de un caso al otro, pero la diferencia es tan insignificante que por lo menos ejes con rodamientos de rodillos — el único tipo de rodamiento hasta ahora empleado — no tiene ninguna trascendencia.

La estipulación de Lloyd's que la mordaza puede variar desde mínimo $\frac{d}{700}$ hasta máximo $\frac{d}{550}$ significa una variación máxima de la mordaza del 27% mientras que la diferencia entre los coeficientes de rozamiento solamente es del 16%.

Basándose en los datos anteriormente mencionados, la unión montada con inyección de aceite resulta a lo menos tanto o más fuerte que una unión a contracción con la mordaza mínima de $\frac{d}{700}$ permitida por Lloyd's Register of Shipping.

Si como medio de presión se emplea glicerina en vez de aceite y además se desengrasan las superficies de contacto se puede contar con a lo menos el mismo coeficiente de rozamiento que el de una unión a contracción.

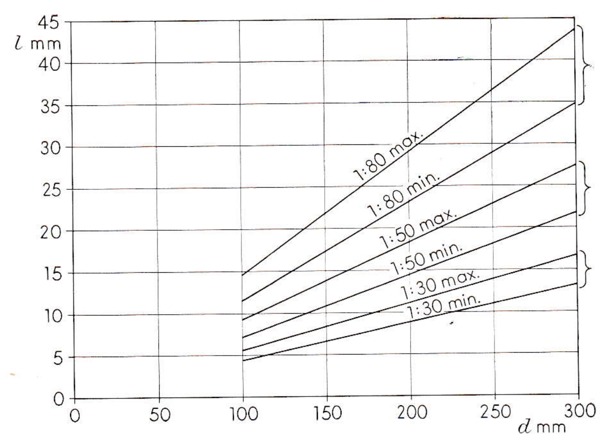


Fig. 20. Longitudes máximas y mínimas de calado para ejes cigüeñales compuestos. El diagrama está trazado según las estipulaciones establecidas por Lloyd's Register of Shipping y vale para tres conicidades diferentes y diámetros de eje distintos
l = longitud de calado
d = diámetro de eje

Para una unión montada con inyección de aceite cuyos elementos interior y exterior son del mismo material, es decir tienen el mismo módulo de elasticidad y valor de contracción, se tiene

$$p = \frac{\Delta}{d} \cdot E \cdot \frac{1 - c_e^2}{2}$$

siendo p = la presión entre las superficies causada por la mordaza, en kg/mm²
d = diámetro del eje en mm
Δ = mordaza entre eje y agujero en mm
E = módulo de elasticidad en kg/mm² (para acero = 21 000)
$c_e = \frac{d}{D}$ siendo D el diámetro exterior en mm $= d + 2t$
t = espesor del material del brazo alrededor del eje en mm

Además, según Lloyd's Register of Shipping, es
$h = 0{,}625\ d$, siendo h el espesor del brazo del cigüeñal

$$t = \sqrt{\frac{0{,}12\ d^3}{h}} = \sqrt{\frac{0{,}12\ d^3}{0{,}625\ d}} = 0{,}44\ d$$

$$c_e = \frac{d}{d + 2t} = \frac{d}{d + 0{,}88\ d} = 0{,}532$$

$$\therefore p = \frac{\Delta}{d} \cdot E \cdot \frac{1 - 0{,}284}{2} = \frac{\Delta}{d} \cdot E \cdot 0{,}358$$

Para $\Delta = \frac{d}{550}$ resulta $p = \frac{1}{550} \cdot E \cdot 0{,}358 = 13{,}7$

La magnitud en kgmm del momento de torsión M que una unión de un eje cigüeñal compuesto según el método de inyección de aceite, puede transmitir es

$$M = \frac{\pi \cdot d^2 \cdot h \cdot p \cdot \mu}{2}$$

siendo μ el coeficiente de rozamiento.

Para la mordaza $\Delta = \frac{d}{550}$ según lo expuesto más arriba, $p = 13{,}7$.

$\therefore M = 0{,}985\ d^3 \cdot 13{,}7 \cdot \mu$

Con aceite como medio de presión, es decir $\mu = 0{,}12$, resulta $M = 1{,}62\ d^3$

Con glicerina como medio de presión y con superficies de contacto desengrasadas antes del montaje, $\mu = 0{,}18$ y

$\therefore M = 2{,}43\ d^3$

Con un diámetro de eje de por ej. 200 mm, el momento máximo transmisible con aceite como medio de presión es $13 \cdot 10^6$ kgmm y con glicerina y superficies de contacto bien desengrasadas, $19{,}5 \cdot 10^6$ kgmm.

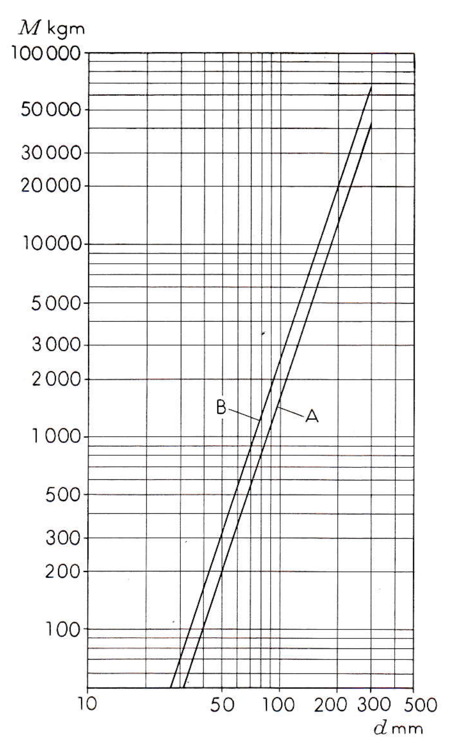


Fig. 21. Momento máximo de torsión de uniones de aceite a presión con dimensiones según Lloyd's Register of Shipping.
d = diámetro de eje
Curva A: aceite como medio de presión
Curva B: glicerina como medio de presión. Superficies de presión bien desengrasadas antes del montaje

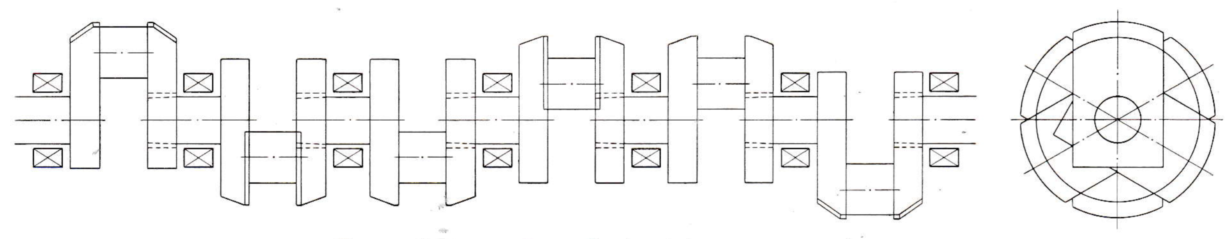


Fig. 22. Diagrama de un eje cigüeñal compuesto en cuarto

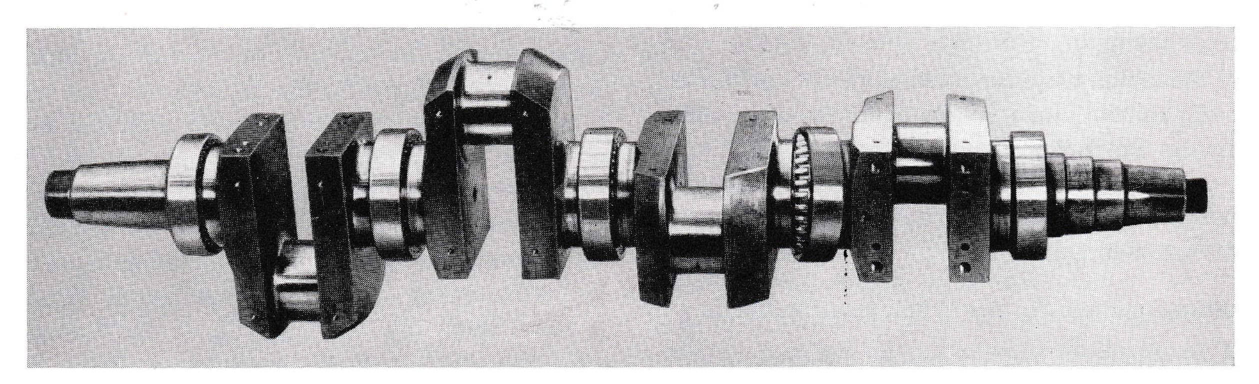


Fig. 23. Eje cigüeñal compuesto mediante aceite a presión, de un motor diesel de cuatro cilindros. Fabricante: Hanseatische Motorenfabrik Penneberg, Hamburgo

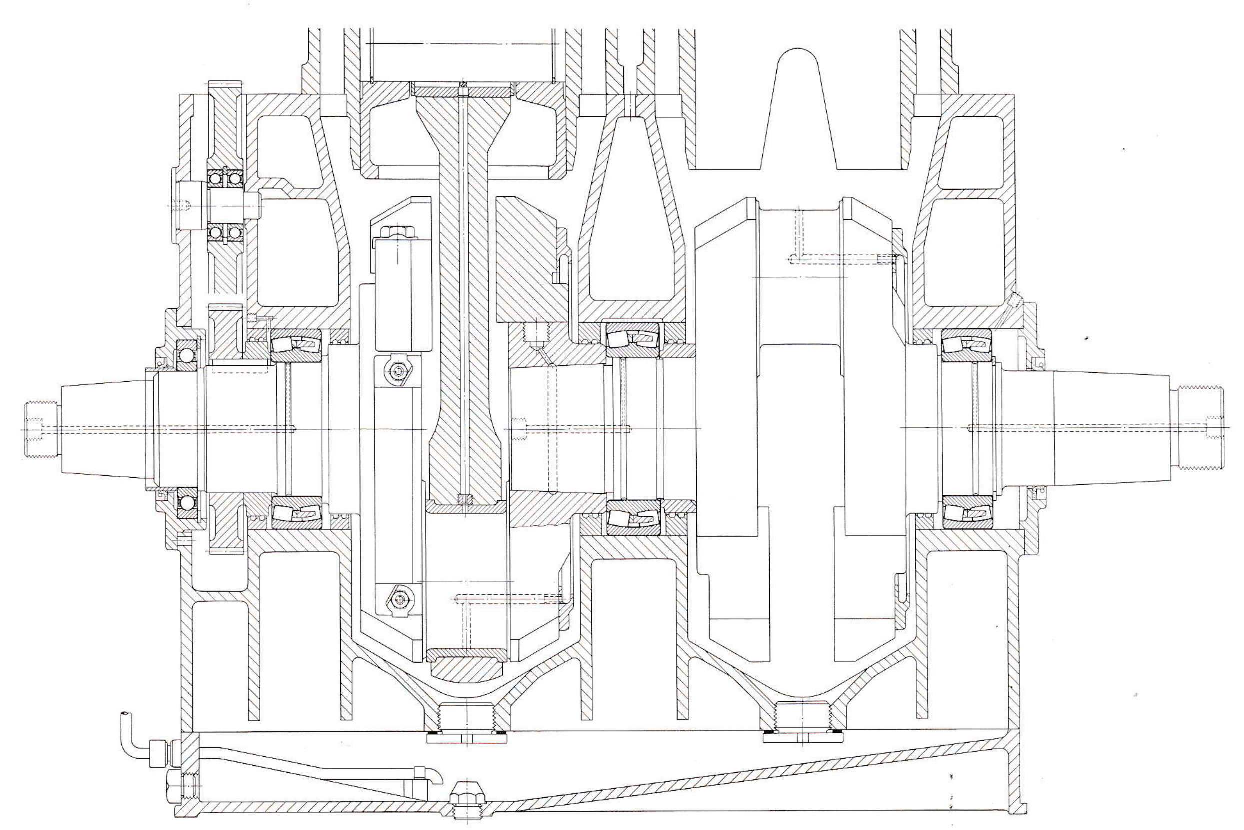


Fig. 24. Corte de un motor diesel de dos cilindros con eje cigüeñal compuesto mediante aceite a presión. Fabricante: Hanseatische Motorenfabrik Penneberg, Hamburgo

Por las curvas de la *fig. 21* se obtiene el momento máximo de torsión para diferentes diámetros de eje.

Diferentes maneras de montar ejes cigüeñales compuestos según el método de inyección de aceite

Con ayuda de aceite a presión se pueden construir ejes cigüeñales de tres modos diferentes, o sea con una, dos o cuatro uniones por codo de cigüeñal. Los ejes cigüeñales se llaman por su orden, compuestos en cuarto, semicompuestos y enteramente compuestos.

A. *Ejes cigüeñales compuestos en cuarto*

La construcción de un eje compuesto en cuarto se ve del diagrama de la *fig. 22*. La ventaja de esta ejecución es que solamente tiene una unión montada con inyección de aceite por cada codo. Además el eje cigüeñal de un motor de varios cilindros puede componerse de la menor cantidad posible de diferentes piezas de eje. En los motores de dos cilindros solamente están incluídas dos diferentes piezas de eje y tres en los motores de tres o varios cilindros.

Existe una desventaja con los ejes compuestos en cuarto: al introducir el muñón del eje en el agujero del brazo, éste se deforma principalmente en una dirección aumentando durante la introducción la separación entre el centro del cubo y el del eje hasta la mitad de la mordaza. Si al mecanizar los ejes cigüeñales no se tiene en cuenta este hecho, éstos quedan excéntricos en sus asientos y los botones de manivela obtienen cierta inclinación. Para ejes con diámetro de eje de 150 mm, se han medido excentricidades de hasta 0,12 mm, pero éstas no han causado inconveniente alguno, ni para los rodamientos de apoyo que son de rodillos a rótula, ni para los rodamientos de las bielas.

La fábrica alemana, Hanseatische Motorenfabrik Penneberg, de Hamburgo, ha fabricado ejes cigüeñales compuestos en cuarto con dos hasta seis codos y ejes de diámetros de 100 o 150 mm. En los cojinetes de apoyo del motor grande se emplean rodamientos 23030. La *fig. 23* representa el eje cigüeñal de un motor de cuatro cilindros desprendiéndose su construcción de la *fig. 24* que representa una sección de un motor diesel de dos cilindros. En la *fig. 25* se ve un

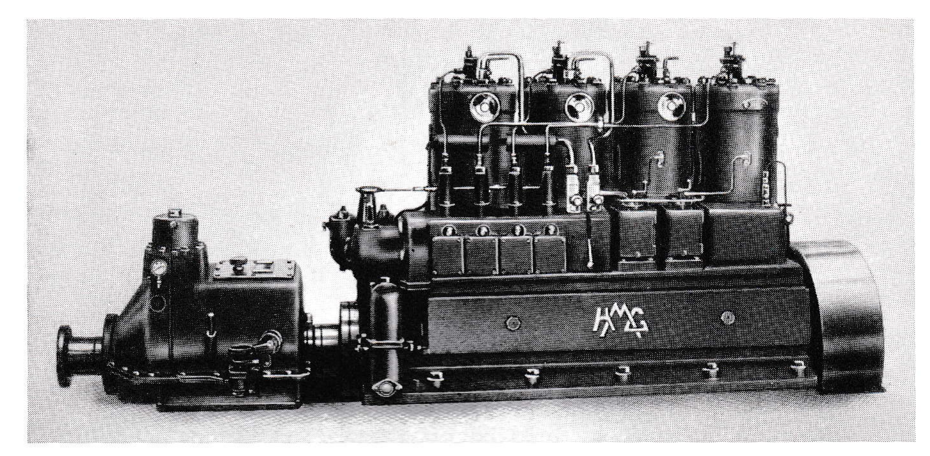


Fig. 25. Motor marino de cuatro cilindros con eje cigüeñal compuesto mediante aceite a presión. Fabricante: Hanseatische Motorenfabrik Penneberg, Hamburgo

motor de cuatro cilindros. La cantidad de motores con ejes cigüeñales compuestos mediante inyección de aceite fabricados por la firma asciende a 770 con una potencia global de unos 50000 HP.

La fábrica Hjelseths Motorfabrikk, Ålesund, Noruega, ha construído unos 60 motores de tres y cuatro cilindros y de 220 y 280 HP respectivamente y con ejes cigüeñales compuestos en cuarto con rodamientos de rodillos a rótula 22340 en los cojinetes de apoyo. La construcción del eje cigüeñal se desprende de la *fig. 26* y la *fig. 27* representa el eje de un motor de cuatro cilindros. Estos motores representan en conjunto una potencia de más de 15000 HP.

A/S Heimdalmotor, Molde, Noruega, en los últimos años ha fabricado unos 60 motores con ejes cigüeñales compuestos en cuarto mediante inyección de aceite. La potencia global es de 9000

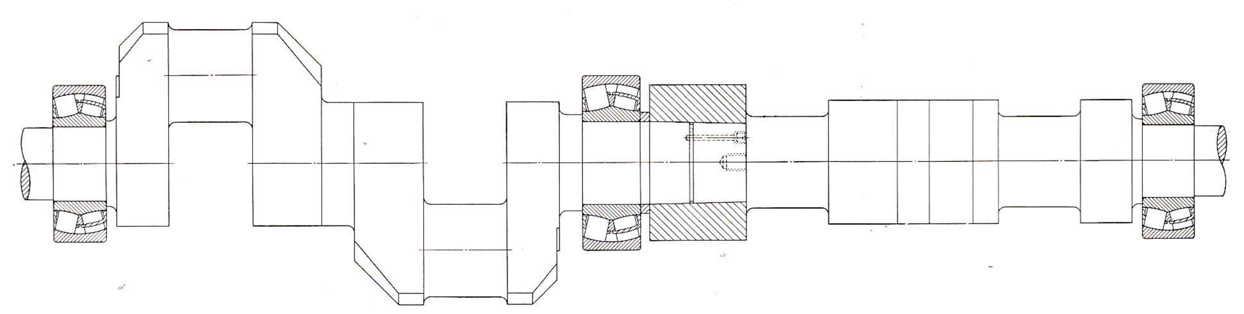


Fig. 26. Eje cigüeñal compuesto en cuarto de un motor diesel de tres cilindros. Fabricante: Hjelseths Motorfabrikk, Ålesund, Noruega

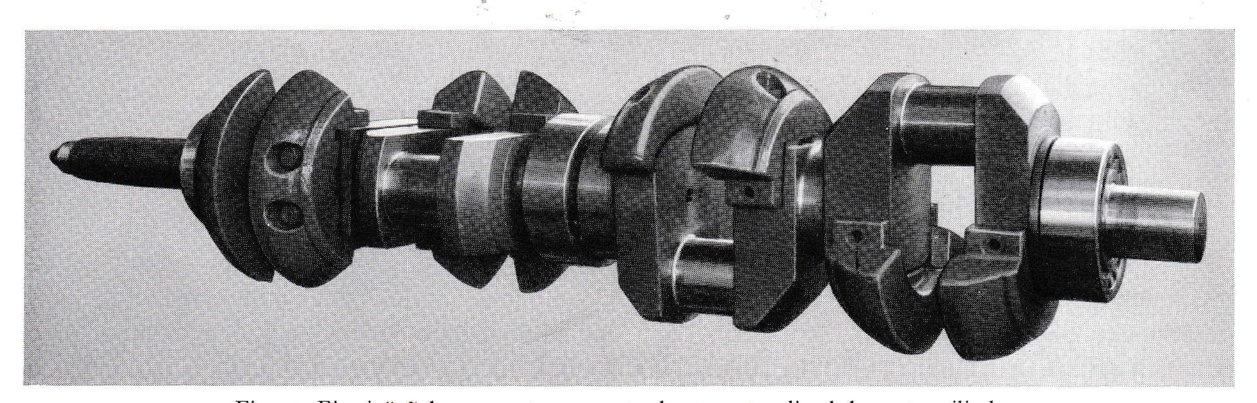


Fig. 27. Eje cigüeñal compuesto en cuarto de un motor diesel de cuatro cilindros. Fabricante: Hjelseths Motorfabrikk, Ålesund, Noruega

HP. La *fig. 28* representa un motor Heimdal. Se fabrican tres tamaños diferentes de 130, 150 y 180 HP, todos de dos cilindros.

B. *Ejes cigüeñales semicompuestos*

De estos ejes existen tres tipos diferentes:

1 Ejes con cada dos codos enteramente forjados y cada dos con dos uniones montadas con inyección de aceite. La *fig. 29* es un diagrama de un eje cigüeñal semejante de un motor de seis cilindros. Todas las uniones de aceite a presión están colocadas entre los muñones de eje y brazos del cigüeñal.

2 Ejes con dos uniones montadas con inyección de aceite en cada codo, todas colocadas entre los muñones de eje y brazos del cigüeñal. La *fig. 30* representa esquemáticamente la construcción de un eje cigüeñal semejante de un motor de seis cilindros.

3 Ejes con dos uniones de aceite a presión en cada codo, cada dos montadas entre muñón de eje y brazo del cigüeñal y cada dos entre botón y brazo del cigüeñal. La construcción de un eje semejante se desprende en principio de la *fig. 31*.

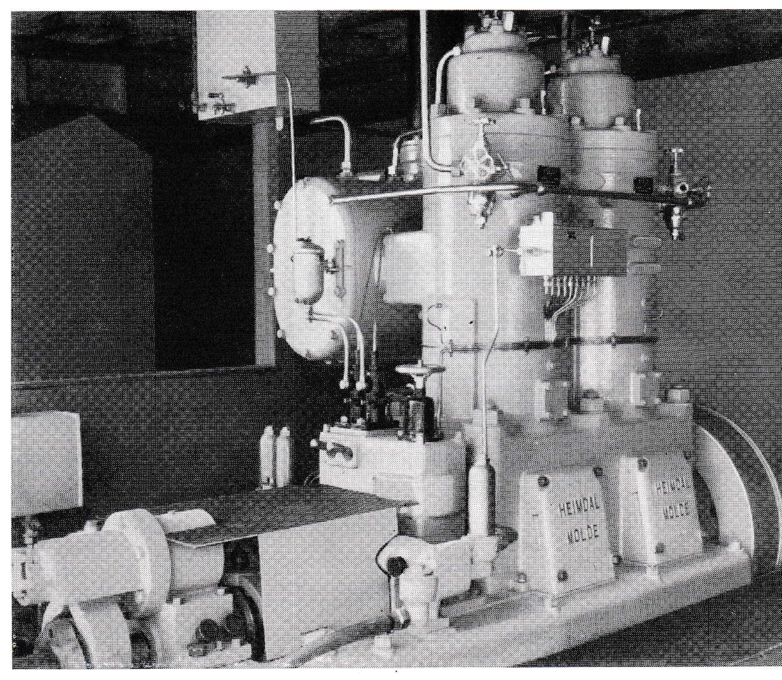


Fig. 28. Motor para buque de pesca con eje cigüeñal compuesto en cuarto. Fabricante: A/S Heimdalmotor, Molde, Noruega

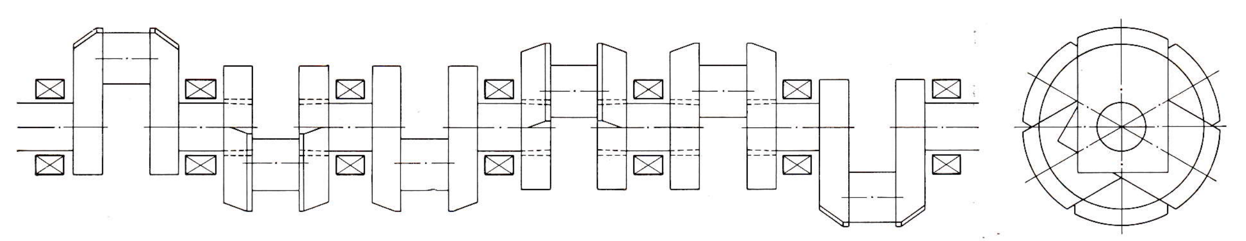


Fig. 29. Diagrama de un eje cigüeñal semicompuesto del tipo 1

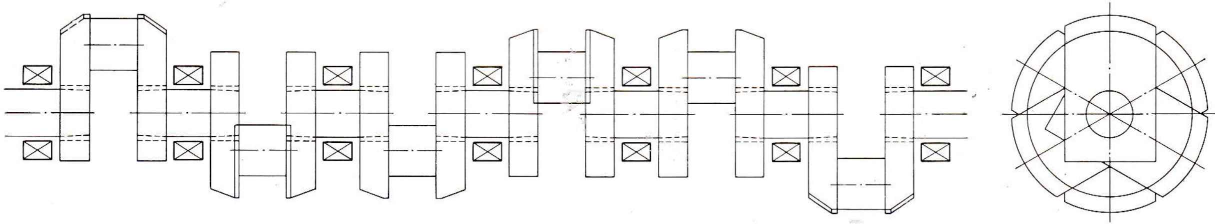


Fig. 30. Diagrama de un eje cigüeñal semicompuesto del tipo 2

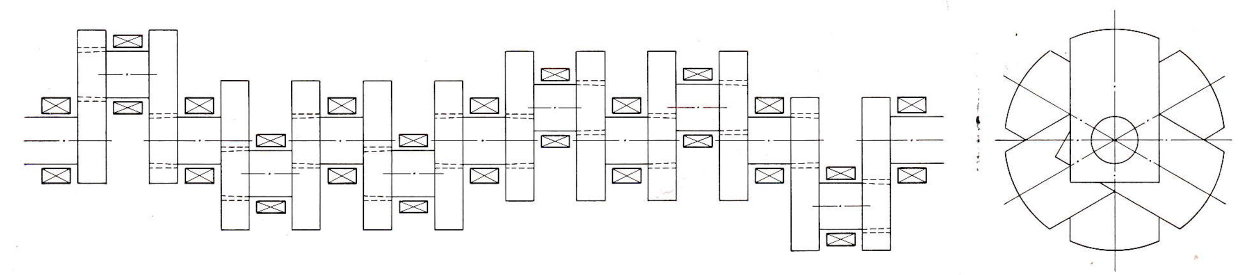


Fig. 31. Diagrama de un eje cigüeñal semicompuesto del tipo 3

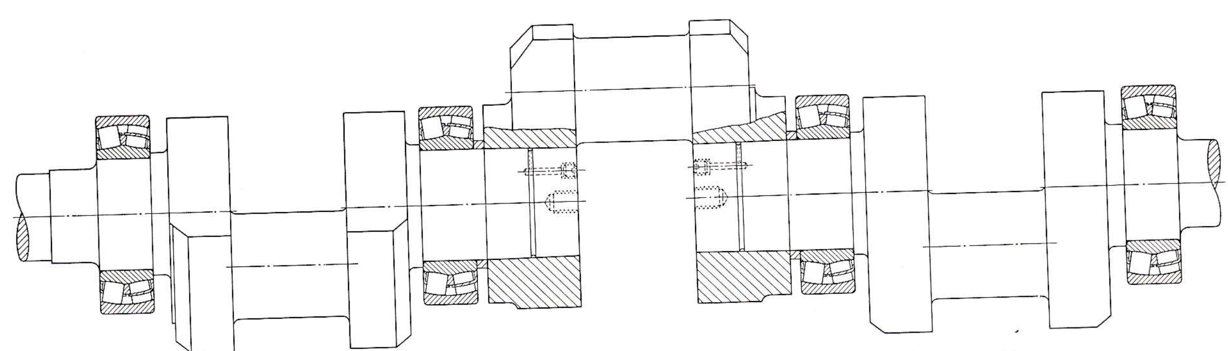


Fig. 32. Eje cigüeñal semicompuesto según la fig. 17 con uniones de aceite a presión.
Fabricante: Hjelseths Motorfabrikk, Ålesund, Noruega

a) Ejes cigüeñales semicompuestos del tipo 1

El número de uniones de aceite a presión de un eje cigüeñal semicompuesto del tipo 1 es para 2, 3, 4, 5, 6 y 7 codos de 2, 2, 4, 4, 6 y 6 respectivamente. Debido al número menor de uniones por eje, estos ejes resultan un poco más baratos en su fabricación que los ejes del tipo 2.

La *fig. 32* representa el eje cigüeñal de un motor de tres cilindros. Cada uno de los codos extremos forman una sola pieza con los muñones del eje. El codo intermedio está fijado directamente sobre asientos cónicos en los muñones de los codos extremos.

Si se mecanizan los dos agujeros cónicos en un torno, este trabajo tiene que hacerse en dos operaciones, lo que trae consigo el riesgo de que los centros de los agujeros queden a diferentes distancias del centro del botón de manivela o bien pueden producirse otros defectos. SKF recomienda por eso el uso de un manguito intermedio de superficie exterior cilíndrica e interior cónica según la fig. 19, pudiendo ambos agujeros hacerse cilíndricos en la

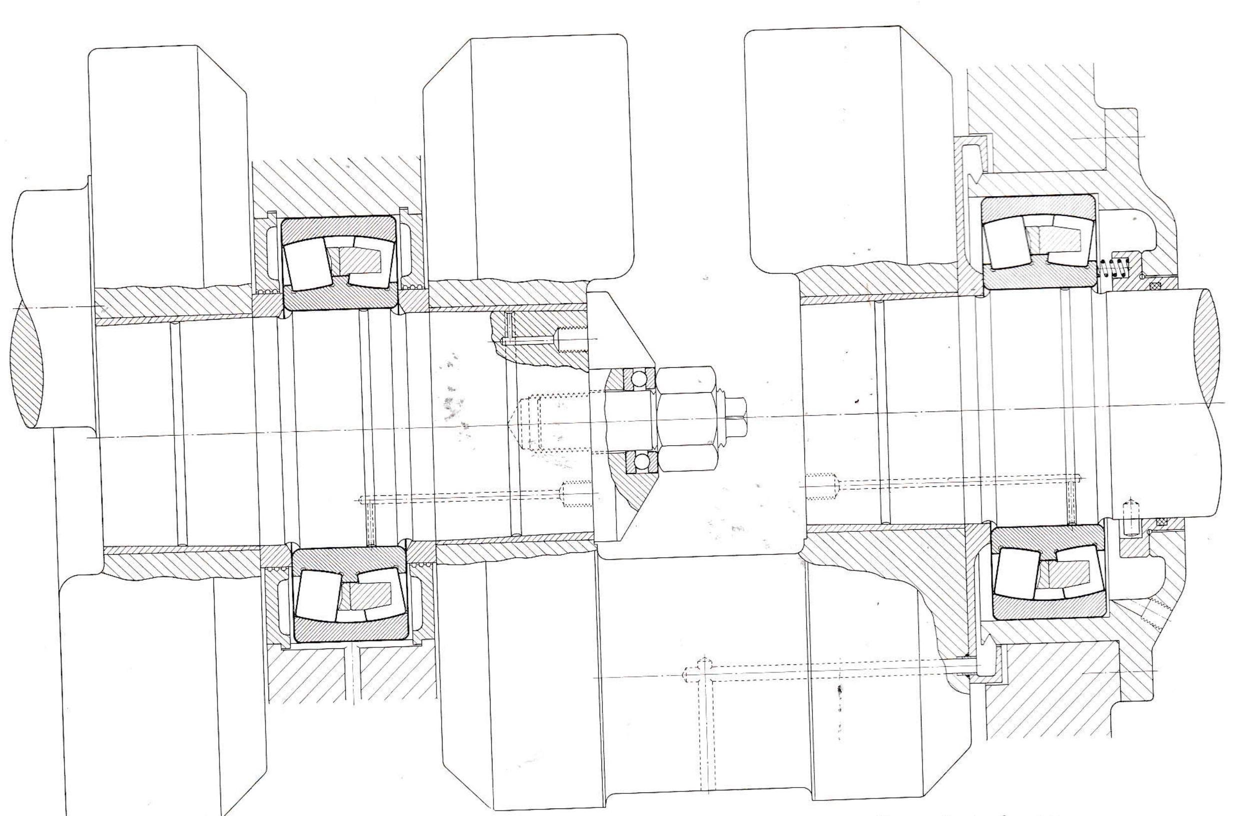


Fig. 33. Detalle de un eje semicompuesto con uniones de aceite a presión según la fig. 19.
Se ve también la herramienta de montaje

misma operación, librándose de esta manera de errores de conicidad y resultando muy pequeñas las tolerancias de mordaza. En la *fig. 33* se ve una unión semejante con herramienta de montaje. La *fig. 34* representa un codo del cigüeñal destinado a investigaciones para averiguar si los conductos de aceite que pasan por el manguito para la lubricación de los rodamientos del cigüeñal, causan escapes de aceite al montar y desmontar la unión. Las pruebas demostraron que estos conductos no son perjudiciales en este sentido.

Cuando se mecanizan los conos del eje se verifican mediante calibres de cono. El cono interior de los manguitos intermedios se verifica mediante un cono de eje preparado para tal fin. El mismo cono del eje se emplea como montura al mecanizar las superficies exteriores desbastadas de los manguitos cuyas superficies interiores están ya acabadas. Se cala el manguito sobre el cono de eje hasta que esté firmemente asentado a fin de que no se suelte al rectificar o tornearse. La tolerancia adecuada, con una conicidad de 1:50 y calando el manguito 1 mm, es p6; si es necesario calar el manguito un largo mayor para que quede fijo durante el mecanizado, debe elegirse la tolerancia r6. El agujero en los brazos del cigüeñal se hace con la tolerancia H7.

Al fabricar los manguitos en serie, se debe medir por separado el diámetro exterior de dos o tres grupos de tolerancia y también deben medirse los agujeros de los brazos del cigüeñal pudiendo después elegirse los manguitos de tal manera que se obtenga ajuste fuerte entre manguito y agujero del brazo. Con este método la longitud de calado varía un poco dependiendo de la magnitud de los límites.

Como ya se ha mencionado anteriormente, la mordaza puede variar de $\frac{d}{550}$ a $\frac{d}{700}$ lo que significa un límite de tolerancias de la mordaza de 37 μ por 100 mm de diámetro de eje o una tolerancia sobre la longitud de calado con la conicidad de 1:50 de 1,95 mm. Compárese con el diagrama de la fig. 20.

Sin embargo, se puede obtener una longitud de calado dentro de límites de tolerancias muy estrechos si desde el principio se fabrica el manguito un poco más largo que el espesor del brazo. Se introduce el manguito mecanizado en el agujero

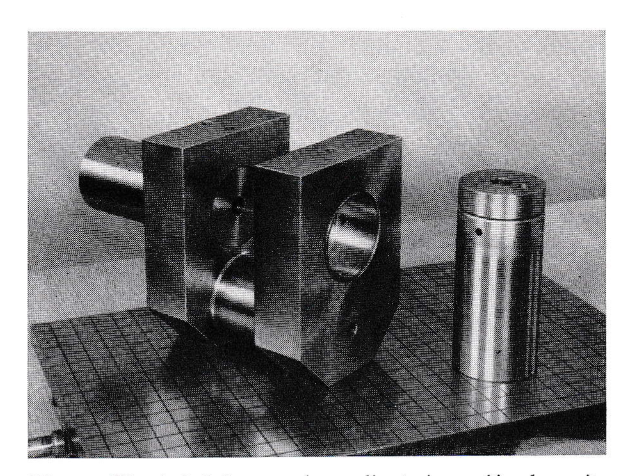
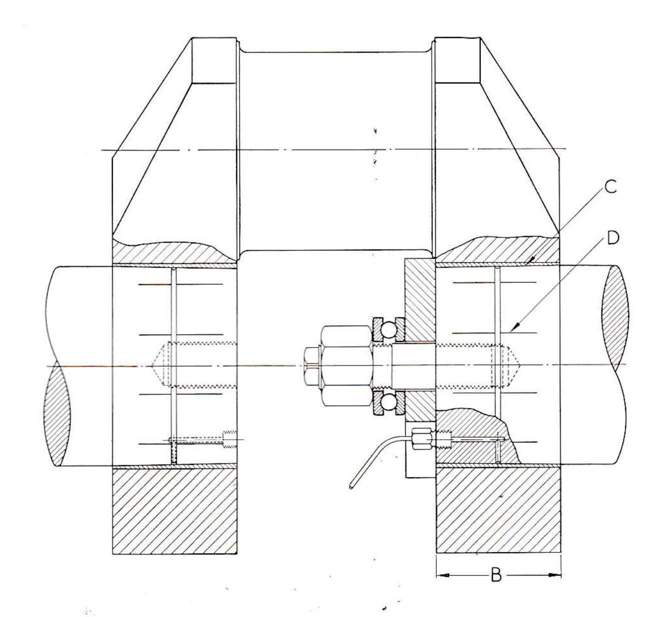


Fig. 34. Eje cigüeñal montado mediante inyección de aceite y construído por SKF para investigaciones especiales



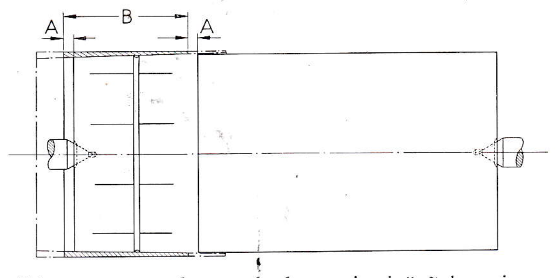


Fig. 35. Diagrama para el montaje de un eje cigüeñal semicompuesto del tipo 1
A longitud de calado
B ancho del brazo del cigüeñal
C cono
D ranuras de drenaje

introduciendo después el muñón de eje correspondiente en el cono del manguito. Se determina la posición axial correcta del manguito en el agujero cuando a mano se introduce a presión el cono del eje y se verifica la longitud de calado A, véase la *fig. 35*. Una vez determinada la posición axial correcta, se corta el manguito a la medida B de manera que su cara coincida con la superficie lateral del brazo del cigüeñal.

La ventaja con la construcción descrita es que se puede obtener más o menos la misma mordaza en todas las uniones pertenecientes a un eje y siempre se puede contar con la mordaza máxima. Gracias a que la longitud de calado es la misma en todas las uniones, resulta que la deformación de ambos brazos del cigüeñal es igual después del calado. En la práctica también se ha demostrado que la excentricidad de los asientos de rodamientos es pequeñísima, no mayor de unas centésimas de milímetro. Otra ventaja es que las tolerancias de longitud del extremo del eje quedan dentro de límites muy estrechos.

La firma sueca AB Seffle Motorverkstad fabrica ejes cigüeñales según este sistema para motores marinos de tres a seis cilindros. Para un eje con tres o varios codos se precisan cuatro diferentes piezas acabadas que se fabrican solamente de dos materiales distintos. Los codos exteriores que son de una pieza con los muñones de eje, y el codo intermedio correspondiente pueden todos hacerse del mismo material. Los codos provistos de agujero son todos enteramente iguales. Desde el año 1956, la firma en cuestión ha fabricado unos 70 motores con una potencia global de unos 15 000 HP. La *fig. 36* representa el eje cigüeñal de un motor Seffle de seis cilindros.

b) Ejes cigüeñales semicompuestos del tipo 2

Se emplea el mismo tipo de unión montada con inyección de aceite que para los ejes del tipo anterior y también el modo de montaje y desmontaje de las uniones es igual. Ciertos fabricantes de motores prefieren este tipo de eje cigüeñal debido a que el número de piezas iguales del eje es mayor lo que trae consigo una fabricación más racional a pesar de que el número de uniones de aceite a presión es dos veces el número de cilindros.

La firma que hasta la fecha ha fabricado el mayor número de ejes cigüeñales compuestos de este tipo, en principio según la fig. 30, es la fábrica danesa Aabenraa Motorfabrik, Åbenrå, que empezó la fabricación ya en 1944. Los ejes primeramente construídos tenían una unión a contracción y otra de aceite a presión por cada codo pero posteriormente se empezó a emplear dos uniones de aceite a presión. La *fig. 37* representa un eje cigüeñal durante su montaje. El ensamblaje se hace en un mecanismo especial de montaje provisto de disposiciones para determinar automáticamente la posición angular correcta entre los tres botones de manivela del eje. Hasta la fecha Aabenraa Motorfabrik ha fabricado 435 motores diesel con un eje cigüeñal semejante que en conjunto desarrollan 38 600 HP.

La fábrica noruega Brødr. Brunvoll Motorfabrikk, Molde, empezó en 1954 a fabricar ejes cigüeñales compuestos según el método de aceite a presión y en los seis años pasados ha entregado unos 180 motores con ejes semejantes. La potencia global es de unos 36 000 HP y el número total de uniones unas 1100. En uno de sus folletos la firma escribe: «Los ejes cigüeñales se entregan



Fig. 36. Eje cigüeñal semicompuesto del tipo 1 de un motor diesel de seis cilindros.
Fabricante: AB Seffle Motorverkstad, Säffle, Suecia

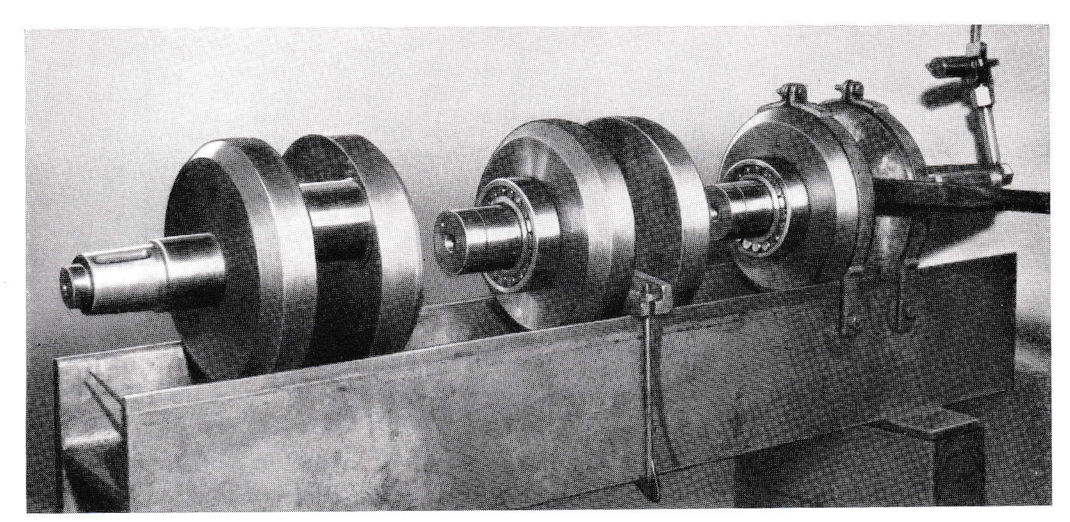


Fig. 37. Ensamblaje de un eje cigüeñal del tipo 2 mediante inyección de aceite en un mecanismo especial de montaje.
Fabricante: Aabenraa Motorfabrik, Åbenrå, Dinamarca

con certificado de Norsk Veritas. Los codos del cigüeñal son hechos de acero fundido y fijados sobre el eje mediante el método SKF de aceite a presión que facilita el desmontaje rápido de todas las piezas del eje si se precisan cambiar las piezas. El eje cigüeñal está compuesto de piezas normales que siempre están en existencia. Las piezas son fabricadas de precisión en máquinas herramienta ultramodernas, y por eso una pieza nueva siempre ajusta bien en su lugar. Si se avería un botón de manivela se desmonta el codo para su repaso o cambio no habiendo necesidad de desmontar ninguna otra parte del eje. No se precisan tocar los rodamientos de apoyo con su tapa de obturación».

Las piezas del eje últimamente mencionado se ven en la *fig. 38* y la *fig. 1* representa un motor Brunvoll de cuatro cilindros.

A/S Bergens Mek. Verksteder en cooperación con otros cuatro fabricantes noruegos, el llamado grupo Normo, fabrica dos tipos de motores de una construcción enteramente nueva con ejes compuestos del tipo 2. Un tipo de los motores tiene diámetro de cilindro de 230 mm y el otro de 300 mm, con 40 y 70 HP por cilindro respectivamente. Los motores se hacen con tres o cuatro cilindros. Del tipo grande se han fabricado 18 motores este año. Para el tipo pequeño se están construyendo 300 cilindros, pero el reparto entre

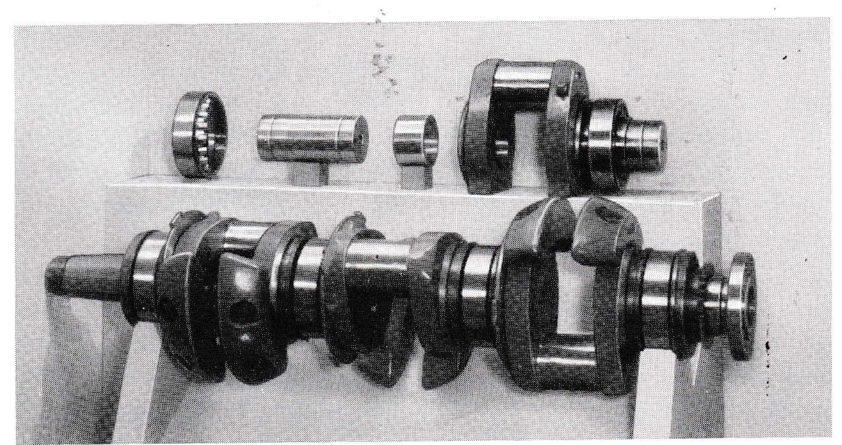


Fig. 38. Eje cigüeñal semicompuesto del tipo 2. En la figura se ve también un codo con sus piezas antes del montaje.
Fabricante: Brødr. Brunvoll Motorfabrikk, Molde, Noruega

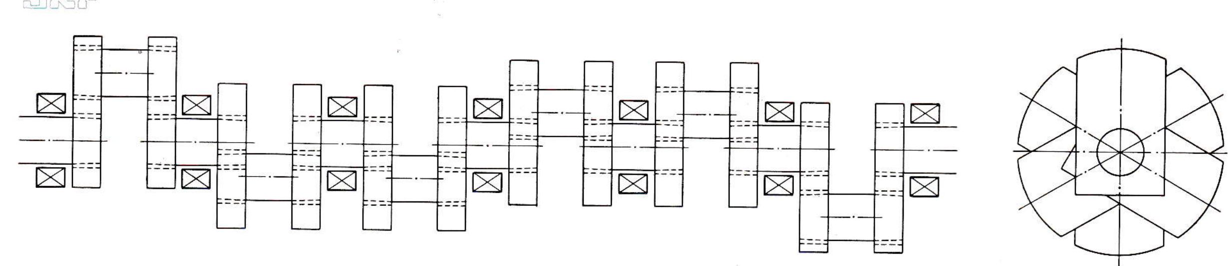


Fig. 39. Diagrama de un eje cigüeñal enteramente compuesto

los números de cilindros no es conocido. La potencia global de los motores acabados y en curso de trabajo es de unos 16000 HP.

Además, la firma A/S De Forenede Motorfabrikker de Bergen, Noruega, actualmente propiedad de A/S Bergens Mek. Verksteder, anteriormente ha fabricado 41 motores de tres cilindros y 240 HP con ejes cigüeñales compuestos de este tipo.

Finalmente otras dos fábricas noruegas de motores, A/S Volda Mek. Verksted, Volda, y A/S Nils N. Finnøy Motorfabrikk, Finnøy, en conjunto han fabricado unos 25 motores con esta construcción del eje cigüeñal. Estos motores que igual que los anteriores están principalmente destinados a buques de pesca, tienen una potencia global de unos 6000 HP.

c) Ejes cigüeñales semicompuestos del tipo 3

Esta construcción se emplea principalmente para ejes cigüeñales de motores estacionarios, véase el párrafo más abajo.

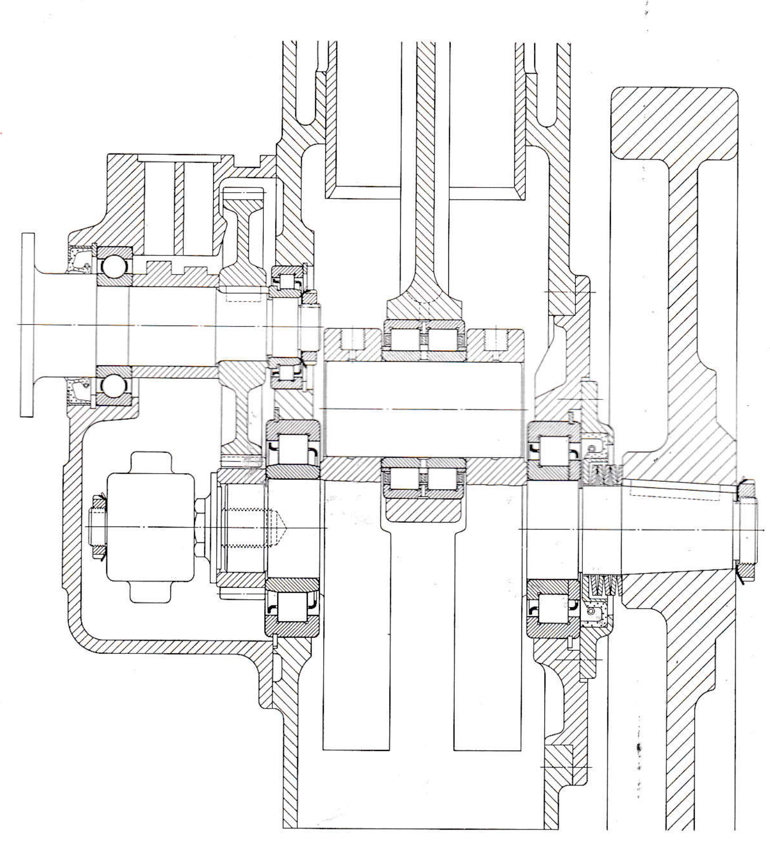


Fig. 40. Motor diesel de un cilindro y 8—10 HP con eje cigüeñal montado mediante inyección de aceite. Fabricante: Farymann Diesel, Lampertheim bei Mannheim, Alemania

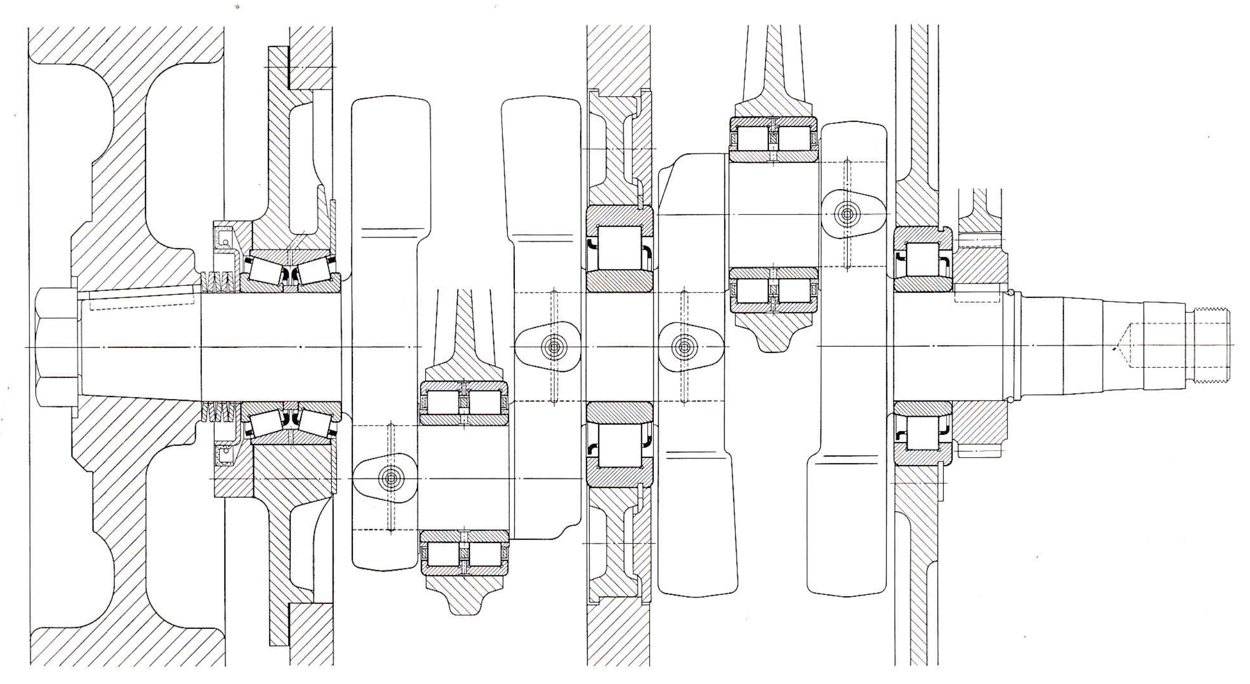


Fig. 41. Motor diesel de dos cilindros y 16—20 HP con eje cigüeñal semicompuesto mediante aceite a presión del tipo 3. Fabricante: Farymann Diesel, Lampertheim bei Mannheim, Alemania

C. *Ejes cigüeñales enteramente compuestos*

La construcción de un eje cigüeñal enteramente compuesto se ve esquemáticamente en la *fig. 39*. En general se fabrican estos ejes solamente para motores muy grandes. La condición de poder fabricar un eje enteramente compuesto es que la carrera sea tan grande que permita dejar un grueso de material suficiente en los brazos del cigüeñal y entre el muñón del eje y botón de manivela.

Ejes cigüeñales compuestos para pequeños motores estacionarios

Al ensamblar cigüeñales para pequeños motores estacionarios, también se ha aplicado el método con inyección de aceite. El método facilita el montaje de rodamientos en las bielas de estos motores que generalmente son de uno o dos cilindros.

La *fig. 40* representa una disposición típica de rodamientos en un pequeño motor diesel de un cilindro y cuatro tiempos fabricado por la firma Farymann Diesel, Farny & Weidmann, Lampertheim, Alemania. El diámetro del cilindro del motor es de 90 mm y la carrera 120 mm, y el motor desarrolla 8—10 HP a 1750 r.p.m. Se han fabricado diez millares de estos motores.

El botón de manivela se fija a contracción. Se calientan los brazos del cigüeñal a 200—230°C calándolos a la vez sobre el botón de manera que sus superficies laterales descansen sobre el aro interior del rodamiento. Se emplea el método de inyección de aceite para alinear los muñones de los ejes y para enderezar los ejes una vez enfriados a fin de que los brazos del cigüeñal hagan contacto con el aro interior en todas partes, en vista de que durante el proceso de contracción se enfría el material de los brazos y el muñón resulta más caliente en el lado que descansa en el agujero del brazo.

En Noruega, la fábrica Damsgaards Motorfabrikk, Bergen, construye un motor parecido, también con un rodamiento de dos hileras de rodillos cilíndricos en la biela. También de este tipo de motor se ha suministrado una cantidad grande.

Farny & Weidmann fabrica también un motor de dos cilindros con las mismas dimensiones del cilindro que el con un cilindro. De la *fig. 41* se desprende la construcción del eje cigüeñal y de los rodamientos. El muñón intermedio del eje está fijado en los brazos del cigüeñal mediante uniones cónicas de aceite a presión. Los botones de mani-

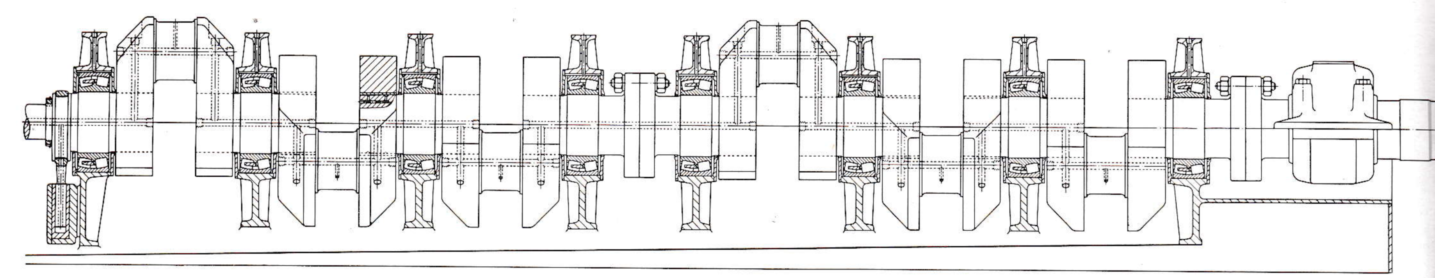


Fig. 42. Eje cigüeñal enteramente compuesto mediante aceite a presión de un motor marino grande

vela están montados a contracción en los dos brazos exteriores del cigüeñal. La alineación y desmontaje se hacen también mediante aceite a presión. De este motor existe también un tipo marino.

Resumen

Hasta ahora se ha principalmente aplicado el método de inyección de aceite al ensamblar ejes cigüeñales para motores marinos de unos 15 HP a 500 HP con el objeto de poder montar rodamientos en los cojinetes de apoyo y en las bielas. Se obtiene entonces la ventaja de una reducción del largo de la construcción en comparación con las construcciones empleadas anteriormente. Cuando la demanda de motores mayores para buques de pesca se intensificó debido a que se empezó a pescar al arrastre lo que exige motores más potentes, los fabricantes escandinavos de esta especialidad tenían ya experimentado un método de ensamblar los ejes cigüeñales y estaban preparados para fabricar motores de varios cilindros para obtener potencia mayor.

La producción de los fabricantes de motores se ha racionalizado gracias a que para satisfacer la demanda de potencias diferentes, solamente se precisa variar el número de cilindros no habiendo necesidad de tener en existencia ejes cigüeñales para diferentes números de cilindros en vista de que los ejes se componen de los mismos elementos. Estos elementos pueden fabricarse en máquinas más ligeras y rápidas. Según datos de los fabricantes, el coste total de un eje cigüeñal compuesto es menor que el de un eje enteramente forjado.

Los codos pueden hacerse de acero fundido y los contrapesos de una sola pieza con los brazos del cigüeñal.

Lo mejor con este método es que es enteramente seguro y que los ejes en lo que se refiere a tolerancias y excentricidad son de mayor precisión que los ejes totalmente forjados.

A pesar de que la aplicación del método con inyección de aceite para ensamblar ejes cigüeñales hasta ahora se ha limitado principalmente a motores pequeños y de tamaño medio, no es ninguna utopía esperar que se pueda extender la aplicación del método a motores marinos grandes pudiendo así proveer los cojinetes de apoyo con rodamientos. Un ejemplo de una construcción semejante del eje cigüeñal se ve en la *fig. 42*. Sin embargo, SKF no se empeña a extender el empleo de rodamientos a motores marinos tan grandes. Por algunas razones, se puede recomendar una construcción semejante mientras que otros factores son argumentos en contra, y mientras así sea no se recomienda la aplicación del método con inyección de aceite para los ejes cigüeñales con rodamientos en motores marinos grandes, ni para los con cojinetes ordinarios.

Hasta septiembre de 1960 se habían entregado o estaban construyendo en conjunto más de 1700 motores destinados a buques de pesca, pequeños buques de carga, remolcadores etc. con los ejes cigüeñales compuestos según el método de inyección de aceite. Las potencias de los motores varían desde 75 hasta 510 HP y la potencia global es de unos 200000 HP. No ha llegado al conocimiento de SKF información alguna de que los ejes se hayan corrido en relación al agujero del brazo lo que es una prueba de la seguridad de la construcción.

Dentro de este campo de la técnica al igual que en muchos otros, el método SKF de inyección de aceite ha demostrado su superioridad sobre otros métodos para obtener uniones fijas.

Nuevo tipo de máquina de hacer cables

Reg. 871 82

La demanda de cables de acero está creciendo y especialmente en países con una gran flota de buques mercantes y pesqueros, el consumo de estos artículos ha crecido considerablemente.

La razón principal de la demanda creciente es probablemente el hecho que actualmente se pueden fabricar cables de acero los cuales además de tener una resistencia considerablemente mayor que los anteriores, son tan elásticos y flexibles que pueden manejarse de la misma manera que los productos correspondientes de fibras. Este mejoramiento de la calidad de los cables se debe en parte a la mejor calidad del alambre empleado y en parte a las propias máquinas de hacer cables.

Como es conocido, un cable de acero se hace retorciendo alrededor de un núcleo de acero o de un material fibroso cierto número de ramales siendo cada ramal compuesto de varios alambres retorcidos. En cables de ciertos tipos los ramales se ponen uno encima del otro según la dimensión de cable deseada. El material a emplearse para el núcleo, o sea acero o fibra, es determinado por las cualidades que se exigen en el cable respecto a resistencia, flexibilidad y resistencia al desgaste exterior y a la corrosión.

Las exigencias impuestas a una máquina moderna de hacer cables en lo que se refiere a la calidad del producto es en primer lugar que los alambres no se perjudiquen al retorcerse y en segundo lugar que el cable no tenga tensiones interiores. Las condiciones son las siguientes: Los alambres y ramales no deben ser expuestos a cambios de dirección agudos (flexiones) durante la torcedura, entre otro porque esto puede averiar el cubrimiento eventual de protección contra corrosión. Las separaciones entre los carretes y el punto de torcedura deben ser iguales para todos los alambres. Además, los carretes deben poder frenarse en el mismo grado a fin de evitar alabeos en el cable. La velocidad de los estribos de los

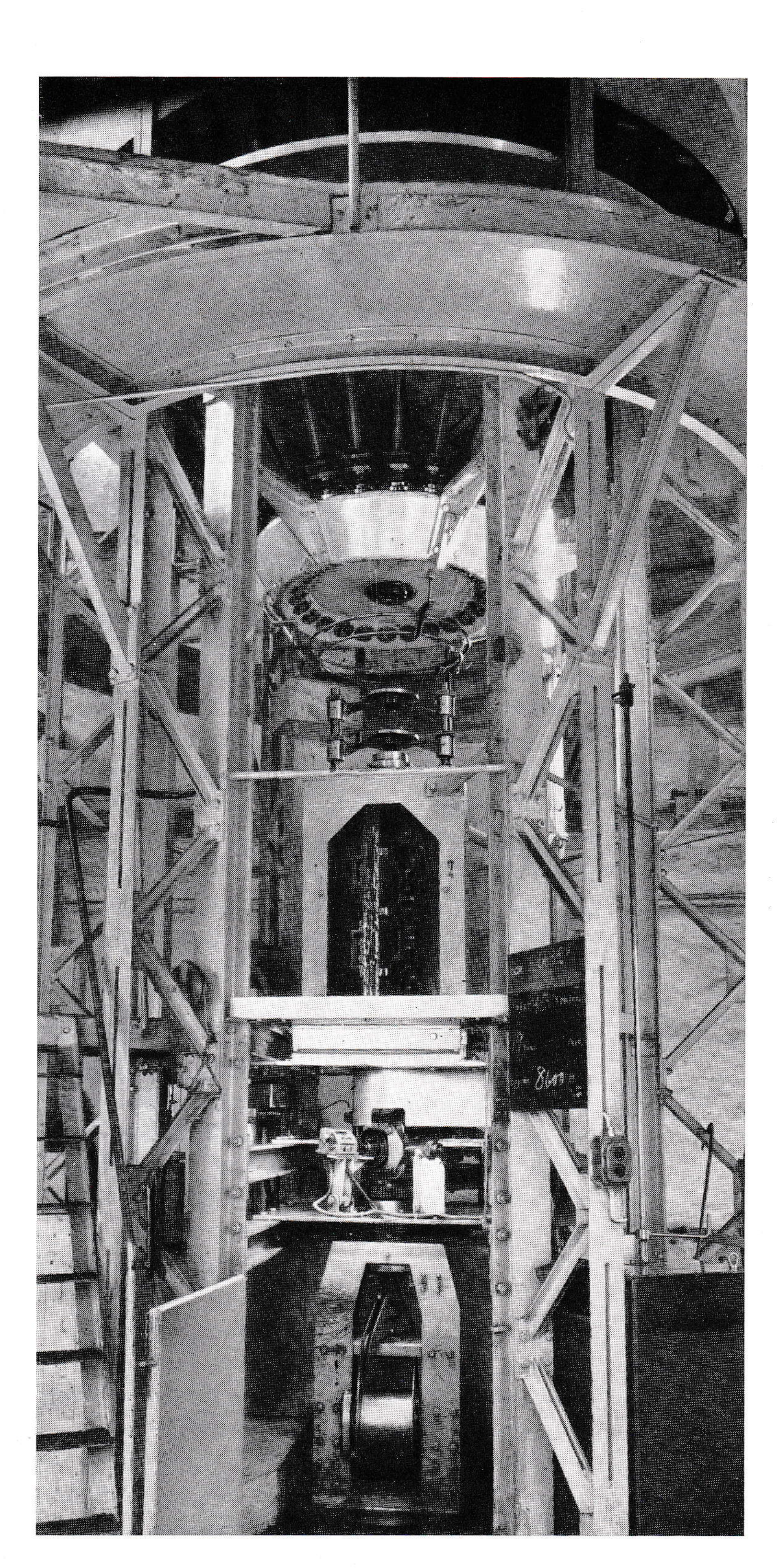


Fig. 1. Máquina de hacer cables vista desde el lado de maniobra

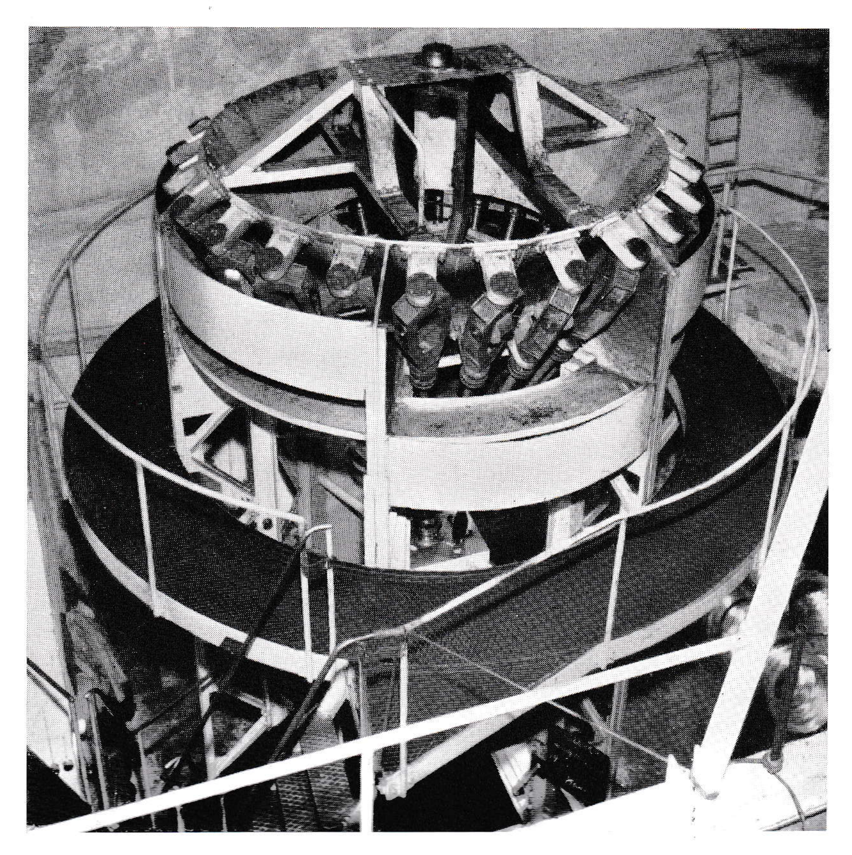


Fig. 2. La máquina representada en la fig. 1, vista desde arriba

carretes debe ser regulable en relación a la velocidad de alimentación del producto terminado obteniéndose así una tensión uniforme y apropiada de los alambres. Una buena máquina de hacer cables debe además tener gran capacidad y ser de manejo fácil y entretenimiento económico.

Hace muchos años que la fábrica noruega A/S Norsk Staaltaugfabrikk, Trondheim, está trabajando en el mejoramiento de los métodos de fabricación de cables de acero. El resultado de estos estudios es la máquina representada en las *figs. 1* y *2* la cual tanto con respecto a la seguridad

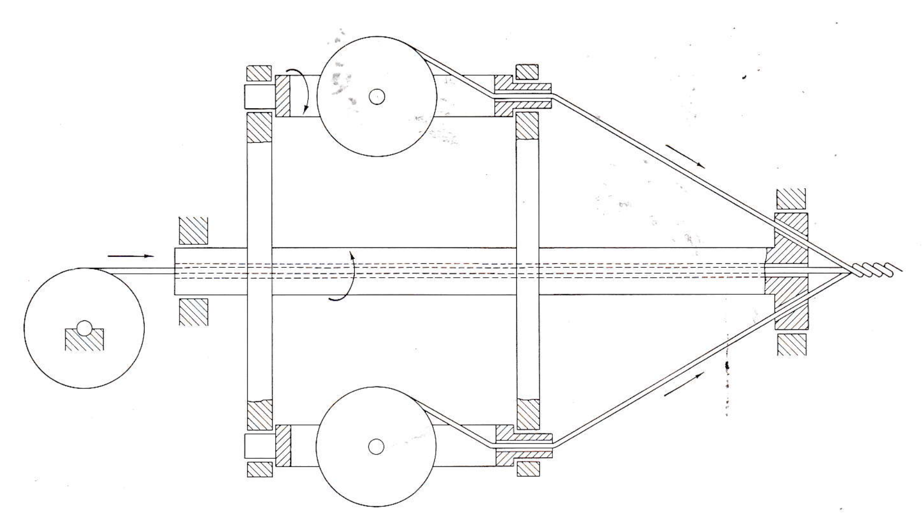


Fig. 3. Diagrama en principio de una máquina de hacer cables del tipo de jaula

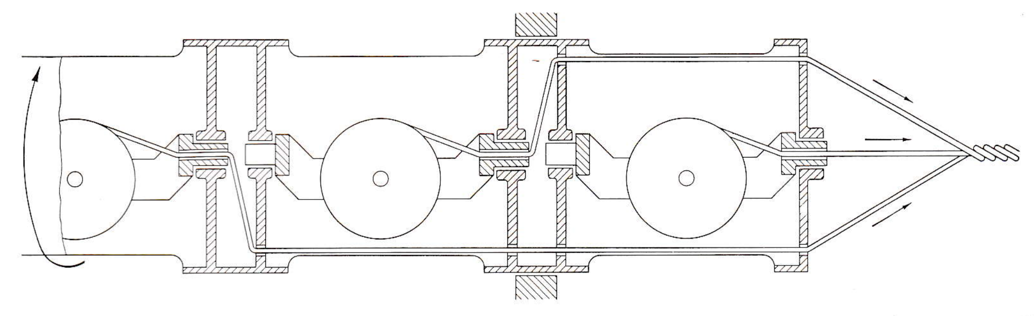


Fig. 4. Diagrama en principio de una máquina de hacer cables con los carretes colocados uno detrás del otro en un cilindro largo

de marcha y capacidad como a la calidad del producto satisface demandas muy exigentes.

Todas las piezas importantes de la máquina están montadas en rodamientos y gracias a éstos el constructor ha podido solucionar de manera elegante los problemas difíciles de construcción.

De las *figs. 3, 4* y *5* se desprenden las diferencias principales entre los métodos empleados hasta ahora para hacer cables y el nuevo método descrito aquí. Como se ve, el constructor ha enteramente abandonado los principios anteriormente aplicados para torcer cables. Comparada con máquinas de tipos anteriores esta nueva máquina tiene ventajas muy importantes como se desprende de lo que sigue.

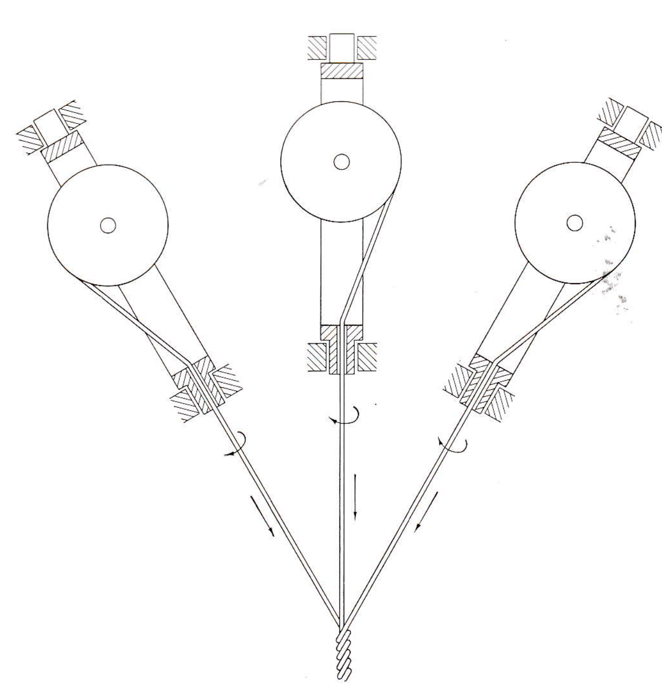


Fig. 5. Diagrama en principio de la nueva máquina de hacer cables

La construcción más antigua de máquina de hacer cables es del tipo de jaula cuyo principio se desprende de la fig. 3. En esta máquina los carretes están colocados en la periferia de un estante circular que gira alrededor del núcleo. Mediante un engranaje planetario cada carrete obtiene un movimiento de giro que hace torcer el alambre alrededor de su propio eje. El cable terminado al contrario no gira sino que se arrolla directamente sobre el tambor de cable. Este tipo de máquina es de marcha relativamente lenta debido a que los carretes se mueven en una pista circular con diámetro bastante grande. La máquina es además muy sensible a diferencias de peso de los carretes pues esto causa desequilibrios. Cada carrete debe por eso pesarse muy exactamente lo que hace más difícil el manejo de la máquina. En su camino desde el carrete hasta el cabezal de torcer, los alambres están sujetos a cambios de dirección muy agudos pudiendo por esto producirse tensiones diferentes de los alambres lo que a su vez puede dar lugar a tensiones interiores y alabeo del cable.

Otro tipo de las máquinas antiguas, fig. 4, tiene los carretes colocados uno detrás del otro en un cilindro largo. Esta construcción permite una velocidad relativamente alta, pero los cambios de dirección de los alambres en su camino del carrete al cabezal de torcer son de mayor número que en el tipo de jaula y además las distancias entre cada carrete y el cabezal de torcer son diferentes para todos los alambres.

Al construir la nueva máquina de hacer cables, *figs. 5* y *6*, se han tenido en cuenta estas desventajas de las máquinas de tipos anteriores. Todos los carretes están montados en estribos que a su vez están colocados en un círculo alrededor del estribo del carrete del núcleo. Todos estos estribos se accionan desde una caja de engranajes ubicada

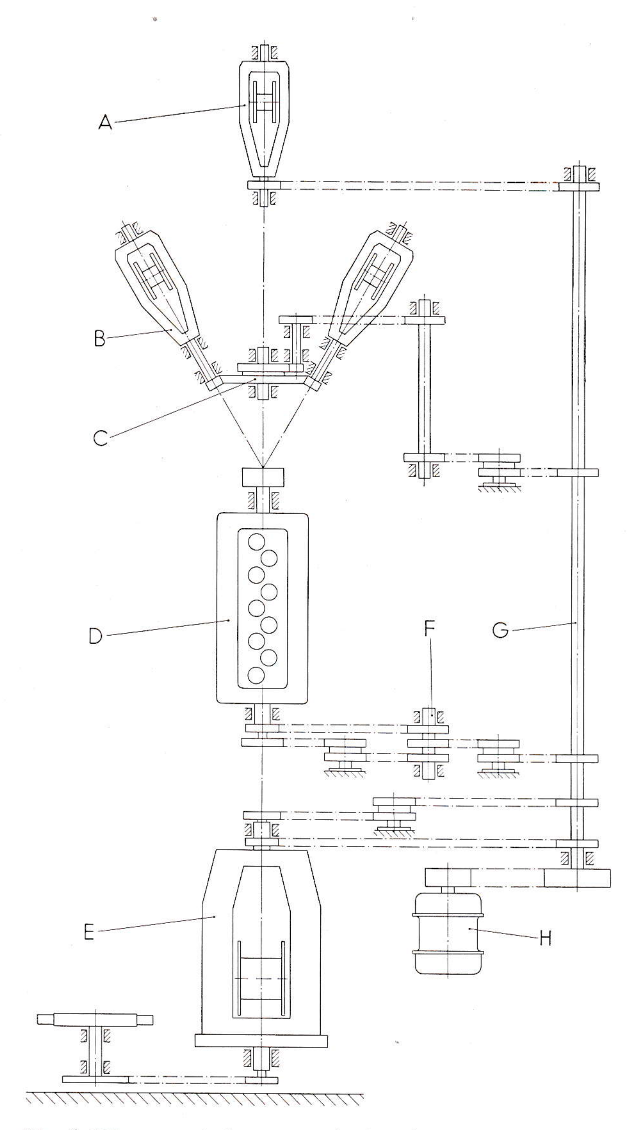


Fig. 6. Diagrama de la nueva máquina de hacer cables
A carrete del núcleo
B carrete de alambre
C engranaje dentado
D mecanismo de alimentación
E estribo
F eje intermedio
G eje principal
H motor eléctrico

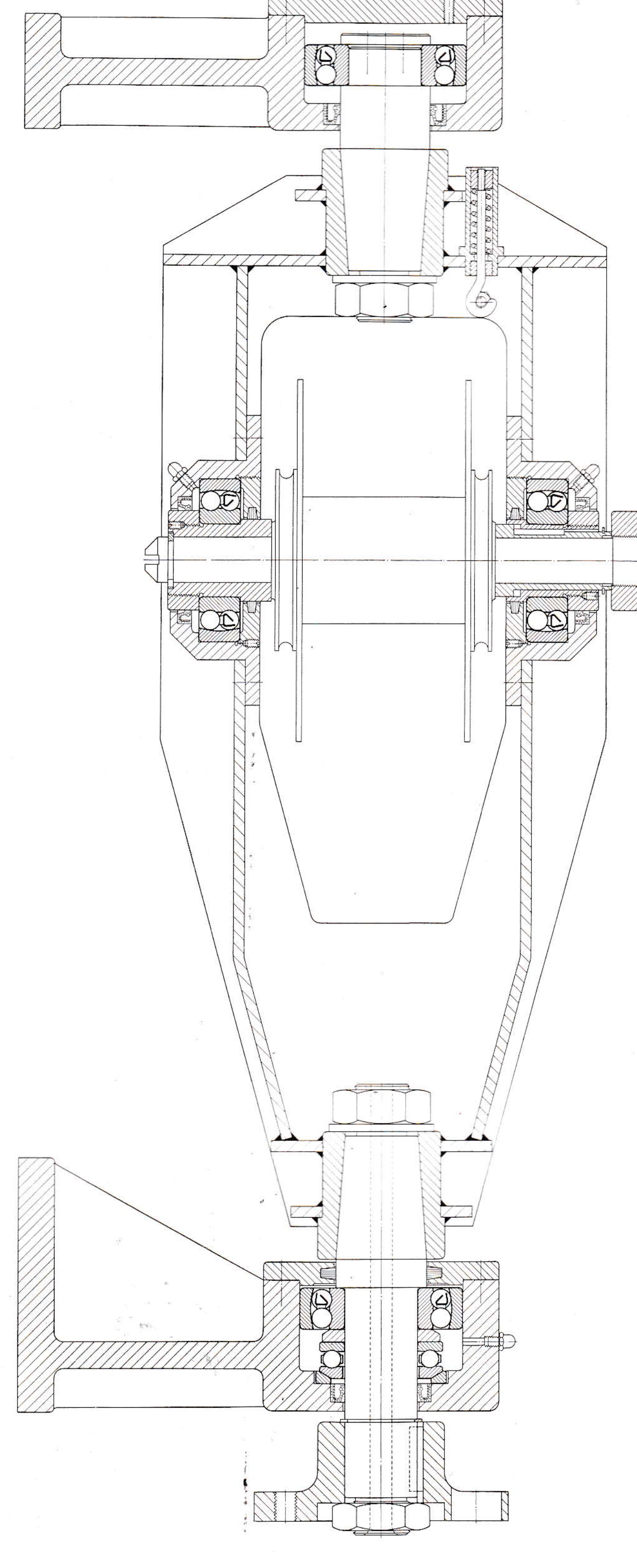


Fig. 7. Disposición de rodamientos para el carrete del núcleo y su estribo. Los carretes de alambre con sus estribos están en principio montados de la misma manera

en el centro. Todos los alambres giran alrededor de su propio eje con una velocidad que está en relación correcta a la velocidad de alimentación del producto terminado. También el mecanismo de alimentación y el carrete de enrollamiento están colocados en estribos y giran.

Para ahorrar espacio en la fábrica, la máquina es de construcción vertical lo que también trae consigo la ventaja de una maniobra fácil.

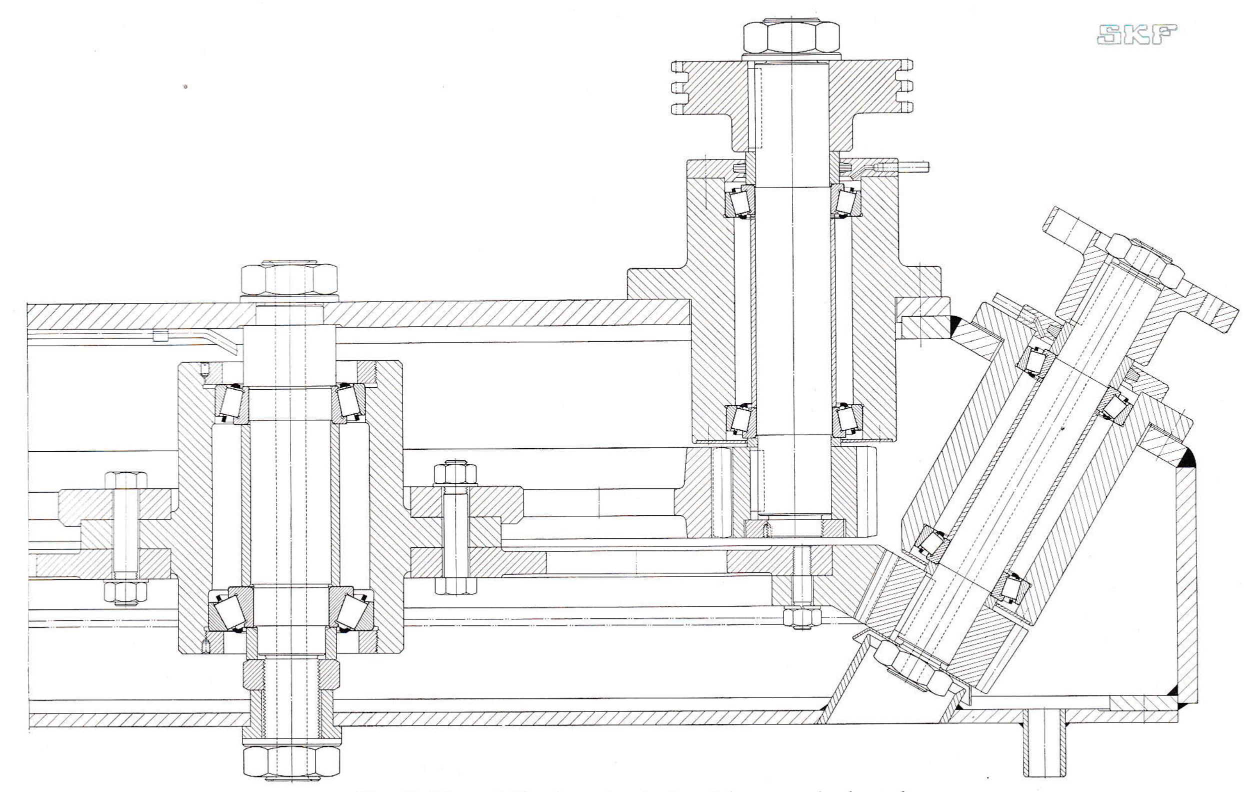


Fig. 8. Disposición de rodamientos del engranaje dentado

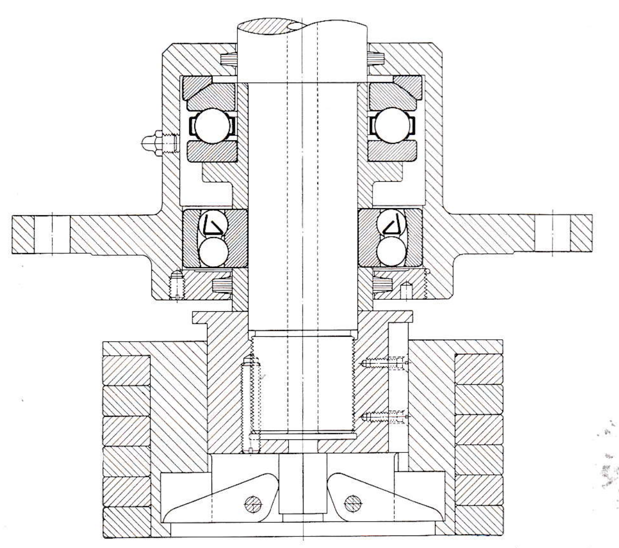


Fig. 9. Los rodamientos en la parte superior del mecanismo de alimentación

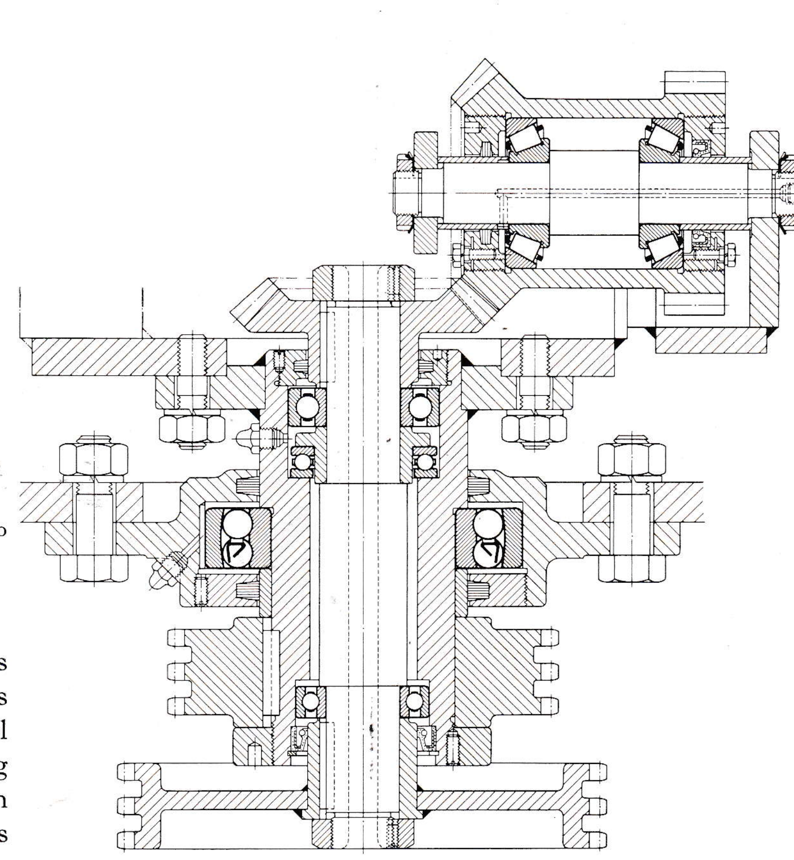


Fig. 10. Los rodamientos en la parte inferior del mecanismo de alimentación

La máquina del nuevo tipo representada en las figs. 1 y 2, se llama hiladera de ramales para cables de acero. Ha estado en marcha continua desde el año 1957. Tiene 24 carretes cada uno para 12 kg de alambre y además un carrete para el núcleo con capacidad de 150 kg de alambre. La velocidad es de 1040 r.p.m. lo que corresponde a 45 m de ramal acabado por minuto como máximo.

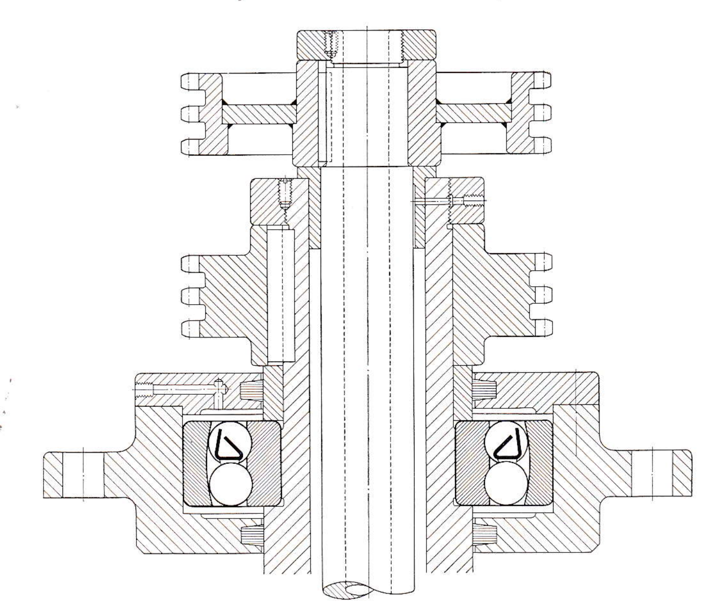
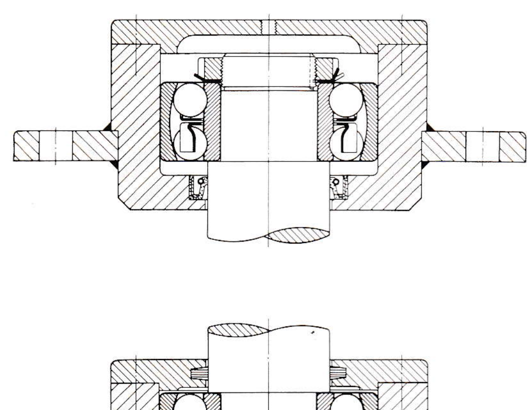


Fig. 11. Rodamiento superior del estribo



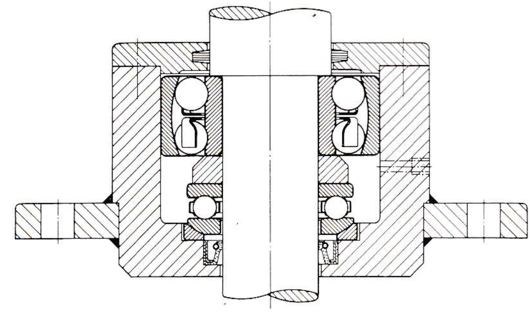


Fig. 13. Disposición de rodamientos para el eje intermedio

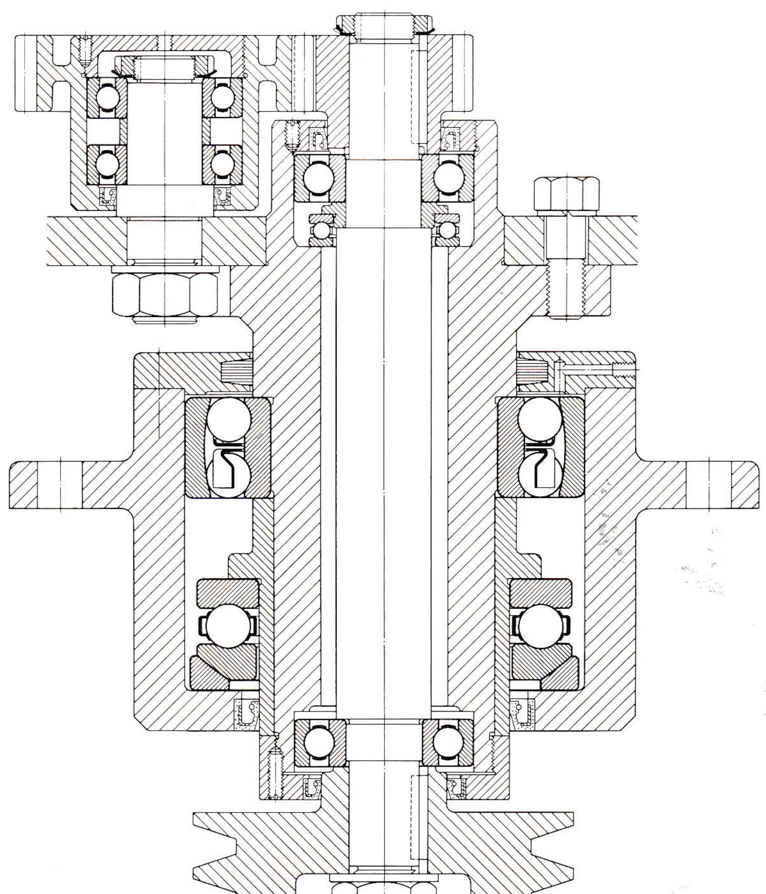


Fig. 12. Los rodamientos en la parte inferior del estribo

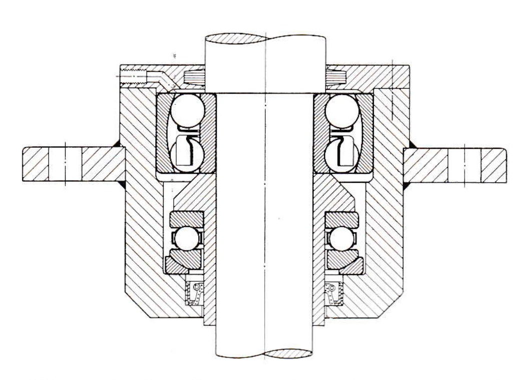


Fig. 14. Rodamientos inferiores del eje principal

En las *figs.* *7* a *14* se ven las disposiciones de rodamientos para las piezas móviles más importantes de esta máquina.

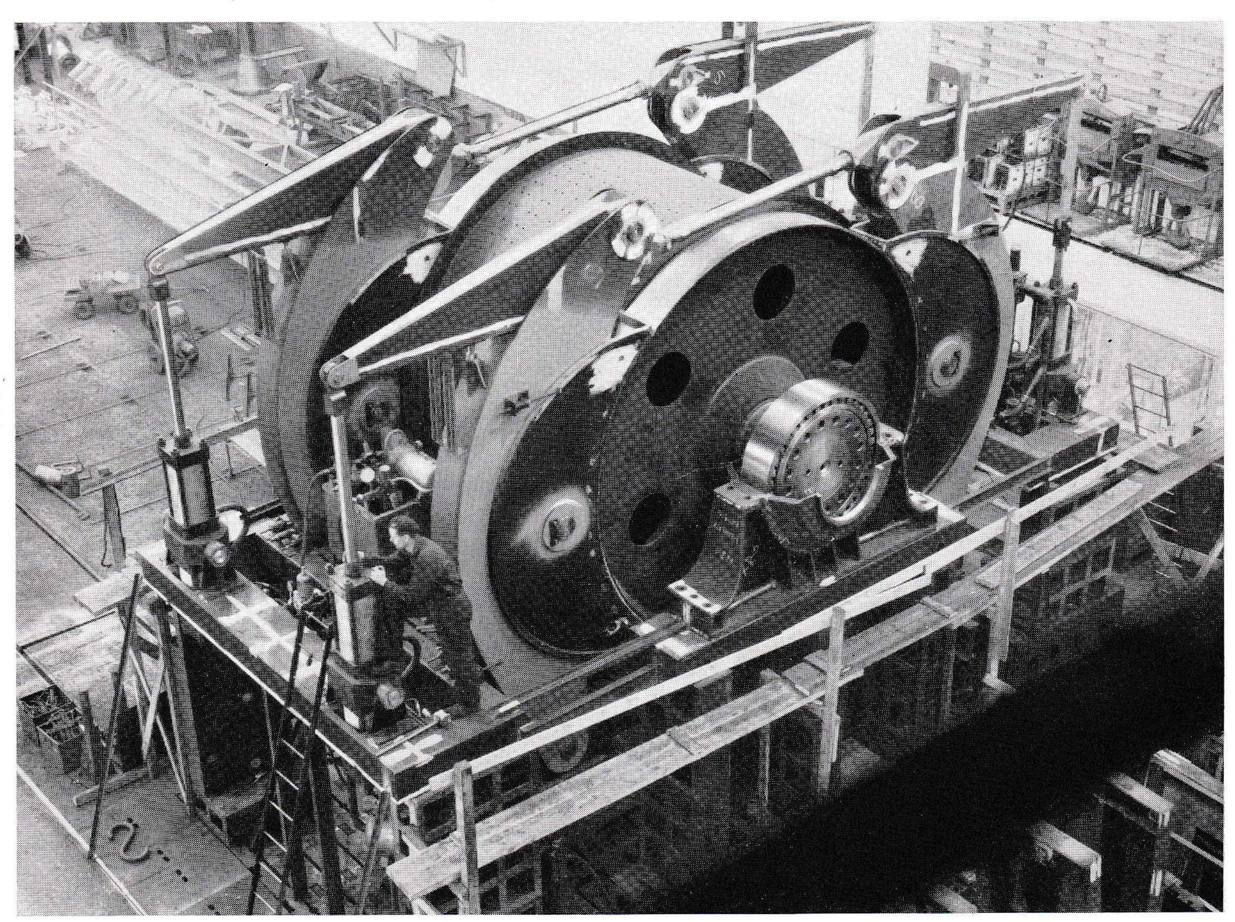


Fig. 1. Montacarga de minas para 50 t durante el montaje de prueba en los talleres de ASEA, Västerås, Suecia

Rodamientos SKF en el mayor montacarga de minas del mundo

Reg. 835 5

Durante los años 1959 y 1960, ASEA, Suecia, suministró dos montacargas de minas que en su género son los primeros y mayores del mundo. El propio tambor del cable pesa 49 t. Cada montacarga está destinado a la elevación doble de una carga útil de mineral de 50 t en cucharones que pesan 40 t.

La velocidad de elevación es de 10 m/s a una profundidad del pozo de 900 m. Sin embargo, el equipo mecánico está construído para una profundidad futura de 1300 m y entonces se aumentará la velocidad hasta 14 m/s.

En comparación puede mencionarse que los montacargas de la instalación central de LKAB en Kiruna (Suecia) elevan una carga útil de 20 t en cucharones de 16 t con una velocidad de elevación de 11 m/s.

A pesar de la gran capacidad de carga, el diámetro del tambor de cable del nuevo montacarga es solamente de 4 m siendo la carga soportada por ocho cables.

Cada montacarga se acciona por cuatro motores con una potencia global de 9000 HP, los cuales mediante dos engranajes dentados de precisión están conectados al tambor de cable. En el futuro al aumentar la velocidad de elevación hasta 14 m/s, se debe aumentar la potencia del motor hasta 12000 HP.

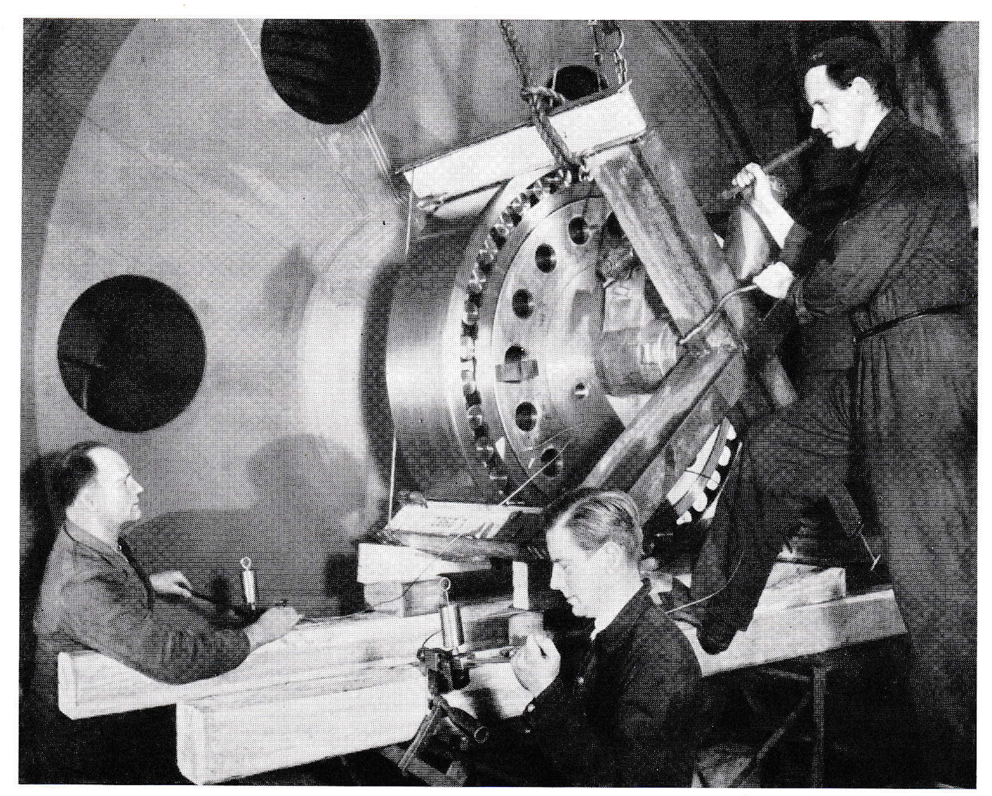


Fig. 2. Después de la marcha de prueba en el taller del fabricante se desmontan los montacargas enteramente para su entrega. En la figura se ve el desmontaje de uno de los rodamientos del tambor de cable con ayuda de inyección de aceite

El eje del tambor está montado en dos rodamientos de rodillos a rótula con las dimensiones 1060×1400×335 mm. También en los engranajes dentados de precisión están incluídos unos cuantos rodamientos de rodillos SKF.

Estos montacargas están incluídos en un pedido grande de la Unión Soviética comprendiendo nueve montacargas de diferentes tamaños todos equipados con rodamientos SKF.

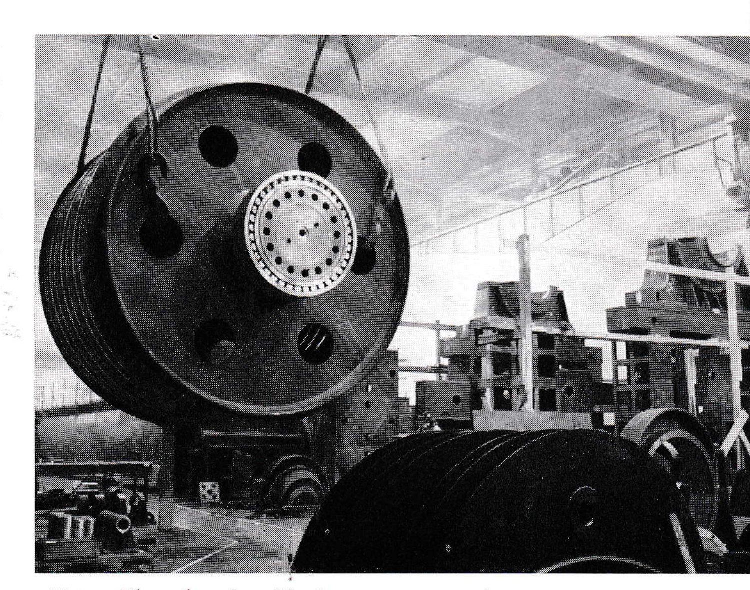


Fig. 3. El tambor de cable durante su montaje

CD 621.43:621.822.6

Kylén, K E: *Ejes cigüeñales compuestos de motores de combustión montados en rodamientos.* La Revista de cojinetes a bolas núm. 4/1960, págs. 82—104.

Para facilitar el montaje más extenso de rodamientos en motores de combustión interna de varios cilindros, es necesario hacer los ejes cigüeñales de varias piezas que se unen en el montaje. El progreso en este ramo ha sido muy rápido y actualmente existen varias maneras de unir tales ejes cigüeñales.

En el artículo se describen estos métodos dando preferencia a los ejes unidos con ayuda del método de aceite a presión ideado por SKF.

SKF Reg. 812 101

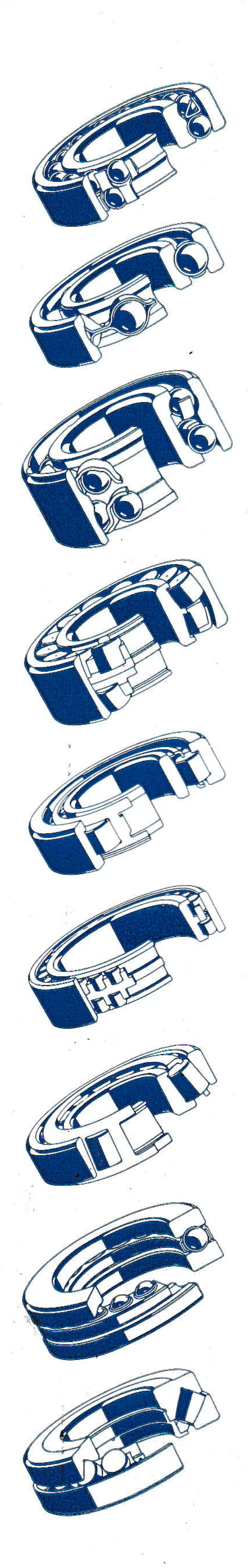
CD 677.71.057:621.822.6

Mentzoni, T: *Nuevo tipo de máquina de hacer cables.* La Revista de cojinetes a bolas núm. 4/1960, págs. 105—110.

En este artículo se describe brevemente un nuevo tipo de máquina de hacer cables construído por una firma noruega. Todas las piezas móviles importantes de la máquina están montadas en rodamientos.

Comparada con máquinas de tipos antiguos, esta máquina tiene ventajas importantes. Es vertical, tiene gran capacidad y produce cables de acero de una calidad que satisface demandas muy exigentes.

SKF Reg. 871 82



SKF

ha creado una organización de técnicos especializados en la resolución de problemas sobre rodamientos, la cual está a disposición de todos los interesados. 180 sucursales repartidas por el mundo entero se encargan de este servicio.

Reg. 077 701